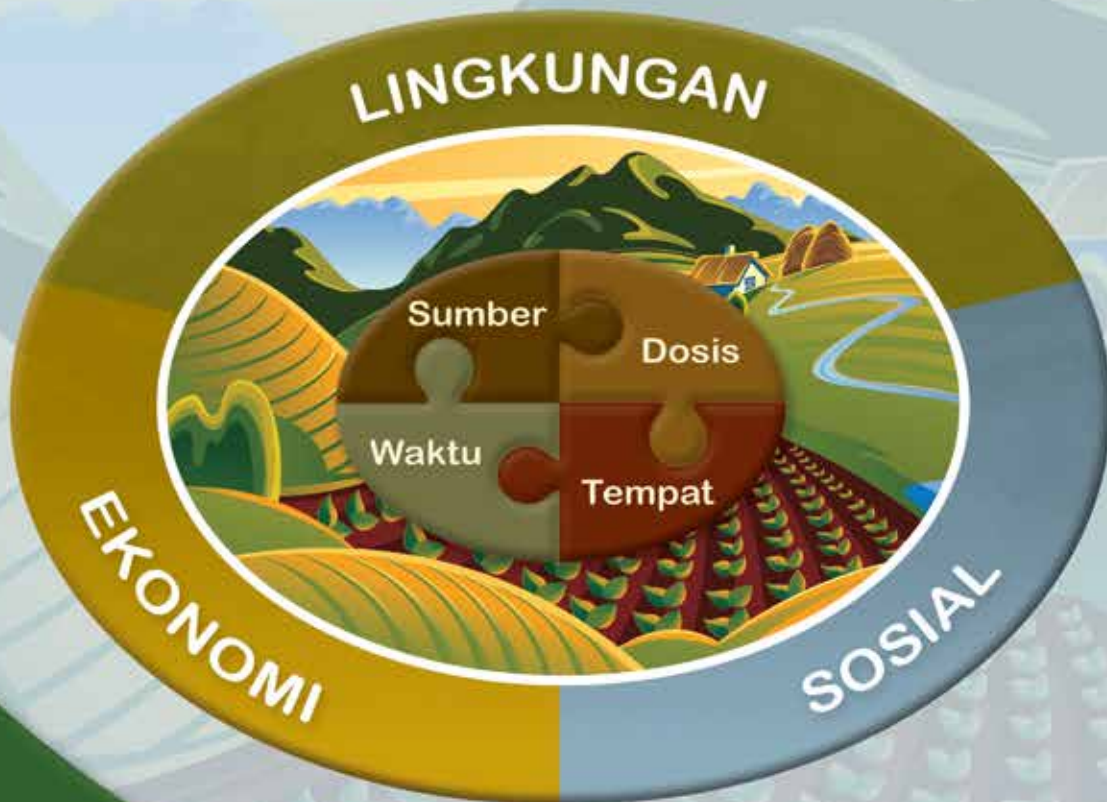


4T HARA TANAMAN

(TEPAT SUMBER, TEPAT DOSIS, TEPAT WAKTU DAN TEPAT TEMPAT)

Pedoman Peningkatan Manajemen Hara Tanaman



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE





4T HARA TANAMAN

(TEPAT SUMBER, TEPAT DOSIS, TEPAT WAKTU DAN TEPAT TEMPAT)

Pedoman Peningkatan Manajemen Hara Tanaman



DIPUBLIKASI OLEH:

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE
Southeast Asia Program
Email: seap@ipni.net
Website: <http://seap.ipni.net>

ISBN 978-967-15179-1-8

© Copyright 2017 by International Plant Nutrition Institute
IPNI SEAP Contribution No. MN2017-1

4T HARA TANAMAN

Kata Pengantar dan Ucapan Terima Kasih

Bab 1

Tujuan Pertanian Berkelanjutan 1-1

Bab 2

2.1 Tepat Sumber pada Dosis, Waktu dan Tempat yang Tepat 2-1

Konsep Penataan

2.2 Praktek Pendukung Prinsip 2-2

Hara 4T

2.3 Konsep 4T Sesuai dalam Sistem Pertanaman 2-3

2.4 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.5 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.6 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.7 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.8 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.9 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.10 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.11 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.12 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.13 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.14 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.15 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.16 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.17 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.18 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.19 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.20 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.21 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.22 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.23 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.24 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.25 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.26 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.27 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.28 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.29 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.30 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.31 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.32 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.33 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.34 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.35 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.36 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.37 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.38 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.39 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.40 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.41 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.42 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.43 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.44 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.45 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.46 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.47 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.48 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.49 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.50 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.51 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.52 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.53 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.54 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

2.55 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil 2-5

Bab 4

Tepat Dosis

4.1 Menilai Kebutuhan Hara Tanaman 4-2

4.2 Menilai Penyediaan Hara Tanah 4-3

4.3 Menilai Semua Sumber Hara yang Tersedia 4-5

4.4 Memperkirakan Efisiensi Penggunaan Pupuk 4-6

4.5 Mempertimbangkan Dampak Sumberdaya Tanah 4-7

4.6 Mempertimbangkan Keekonomian Dosis-spesifik 4-10

Modul

□ 4.1-1 Pupuk nitrogen dibutuhkan oleh gandum dan jagung di Argentina sebaiknya ditentukan sebelum penanaman 4-11

□ 4.1-2 Menghitung dosis pupuk pada tanaman sereal menggunakan data petak omisi 4-12

□ 4.6-1 Dosis nitrogen optimum ekonomis untuk kapas pada lempung liat berdebu di Alabama berubah sedikit dengan perubahan harga 4-13

□ 4.6-2 Dosis pupuk nitrogen optimum secara ekonomis pada jagung bervariasi hanya sedikit pada kondisi pasar lebih dari periode 10 tahun 4-13

Bab 5

Tepat Waktu

5.1 Menilai Waktu Penyerapan Oleh Tanaman 5-1

5.2 Menilai Dinamika Penyediaan Hara Tanah 5-4

5.3 Menilai Dinamika Kehilangan Hara Tanah 5-5

5.4 Mengevaluasi Logistik Operasi Lapangan 5-5

Modul

□ 5.1-1 Respon produksi gandum terhadap aplikasi nitrogen tambahan pada pemupukan akhir diprediksi dari warna daun 5-7

□ 5.1-2 Aplikasi nitrogen yang selaras dengan kebutuhan tanaman menurunkan nitrat tanah 5-7

□ 5.1-3 Pola serapan untuk nitrogen, fosfor, dan kalium pada tanaman anggur di Shaanxi, China mempengaruhi rekomendasi waktu aplikasi 5-8

□ 5.1-4 Pemisahan dosis membuat lebih banyak kalsium tersedia bagi tanaman kacang tanah 5-9

□ 5.1-5 Pemisahan aplikasi nitrogen meningkatkan produksi dan efisiensi nitrogen pada gandum musim dingin 5-9

□ 5.2-1 Tingkat uji tanah yang tinggi memungkinkan fleksibilitas waktu aplikasi fosfor dan kalium 5-10

□ 5.3-1 Aplikasi nitrogen musim semi meningkatkan pemulihan nitrogen dan keuntungan pada jagung di Minnesota bagian selatan 5-11

□ 5.3-2 Waktu aplikasi pupuk fosfor dapat membantu melindungi Danau Erie 5-12

Bab 6	6.1	Pertumbuhan Akar Tanaman.....	6-1
Tepat Tempat	6.2	Praktek Penempatan Hara	6-3
	6.3	Reaksi Tanah dan Akar terhadap Penempatan Lajur	6-4
	6.4	Pemupukan Daun.....	6-7
	6.5	Mengatur Variabilitas Spasial.....	6-7
<i>Modul</i>	□ 6.2-1	Penempatan pupuk nitrogen mempengaruhi pertumbuhan gulma dan kompetisi dengan gandum musim semi di Alberta, Kanada	6-10
	□ 6.3-1	Penempatan fosfor untuk kedelai yang ditanam pada tanah tropis	6-11
	□ 6.3-2	Tempatkan fosfor dalam tanah untuk melindungi kualitas air di Danau Erie.....	6-12
	□ 6.4-1	Meminimalkan kehilangan amonia dengan “tepat tempat” untuk tebu dan jagung di Brazil.....	6-13
Bab 7	7.1	Sistem Pertanaman	7-1
Adaptasi Praktek Pada Keseluruhan Kebun	7.2	Manajemen Adaptif.....	7-1
	7.3	Dibalik Sistem Pertanaman	7-3
	7.4	Dukungan Keputusan	7-3
<i>Studi Kasus</i>	□ 7.1-1	Pengaruh sistem pertanaman pada efisiensi hara dan produksi tanaman di Brazil ..	7-5
	□ 7.1-2	Mengadaptasi manajemen nitrogen untuk kentang ke rezim irigasi di China.....	7-6
	□ 7.2-1	Manajemen nitrogen adaptif pada tanah menggunakan data lokal untuk jagung di Midwest Amerika Serikat.....	7-7
	□ 7.2-2	Memperbaiki manajemen nitrogen dan hasil praktek irigasi pada efisiensi dan produksi.....	7-8
	□ 7.3-1	Praktek pemilihan fosfor untuk gandum berdasarkan kondisi petani	7-10
	□ 7.3-2	Optimasi manajemen pupuk N untuk kebutuhan multi waktu	7-11
	□ 7.3-3	Perbaikan keseimbangan hara pada peternakan melalui manajemen pakan ternak.....	7-12
	□ 7.4-1	Penggunaan alat pendukung keputusan meningkatkan keuntungan produksi jagung di Indonesia	7-14
Bab 8	8.1	Pemantauan Tanaman dan Gejala Kekurangan Hara.....	8-1
Praktek Pendukung	8.2	Uji Tanah	8-3
	8.3	Analisis Tanah.....	8-6
	8.4	Analisis Tanaman.....	8-7
	8.5	Menginterpretasi Hasil Uji Tanah dan Analisis Tanaman	8-9
	8.6	Plot Omisi	8-12
<i>Studi Kasus</i>	□ 8.1-1	Sejarah pertanaman mempengaruhi keputusan kedalaman pengambilan contoh tanah	8-13
Bab 9	9.1	Rencana Pengelolaan Hara.....	9-1
Perencanaan Pengelolaan Hara dan Akuntabilitas	9.2	Rencana Penataan Hara 4T.....	9-1
	9.3	Ukuran Kinerja dan Indikator	9-2
	9.4	Efisiensi Penggunaan Hara sebagai Indikator Kinerja	9-4
	9.5	Langkah-langkah untuk Pengembangan Rencana Penataan Hara 4T.....	9-5
	9.6	Contoh Lembar Kerja Rencana 4T.....	9-6
	9.7	Membandingkan Standar Pengaturan dan Sukarela untuk Rencana Manajemen Hara....	9-9
	9.8	Mengatur Dampak Lingkungan.....	9-10
	9.8.1	Mengatur Dampak Lingkungan N	9-10
	9.8.2	Mengatur Dampak Lingkungan P	9-11
	9.9	Sinergisme Penataan	9-13
<i>Studi Kasus</i>	□ 9.1-1	Rencana manajemen hara untuk tebu di daerah tropika basah Australia.....	9-14
	□ 9.1-2	Bagaimana Penataan Hara 4T menurunkan emisi gas rumah kaca	9-16
	□ 9.1-3	Praktek manajemen air dan hara memperbaiki kualitas air tanah di Nebraska, Amerika Serikat.....	9-17
	□ 9.1-4	Mengatur pupuk fosfor melalui taraf uji tanah meningkatkan produksi pangan dan kondisi lingkungan di China.....	9-19

Kata Pengantar

PENATAAN HARA 4T merupakan pendekatan baru untuk pelaksanaan manajemen pemupukan yang baik yang telah diadopsi oleh industri pemupukan di dunia. Pendekatan ini memperhatikan faktor ekonomi, sosial dan lingkungan dalam manajemen hara dan merupakan hal yang penting untuk sistem pertanian yang berkelanjutan. Konsep ini sederhana – mempergunakan sumber hara yang tepat, pada dosis yang tepat, pada waktu yang tepat, dan pada tempat yang tepat – namun implementasinya berdasarkan pengetahuan yang baik dan lokasi yang spesifik.

Kami mengembangkan pedoman ini untuk menjelaskan konsep Penataan Hara 4T dan untuk menegaskan prinsip-prinsip keilmuan yang mendasari keempat “tepat”. Tidak dimaksudkan untuk mendidik pembaca pada dasar kesuburan tanah dan hara tanaman, tetapi lebih kepada membantu pembaca menyesuaikan dan memadukan prinsip-prinsip mendasar tersebut ke dalam metode manajemen hara yang komprehensif yang memenuhi kriteria keberlanjutan.

Pedoman ini mencakup bab prinsip keilmuan pada setiap empat “tepat” dengan penerapan yang mendukung. Kami juga mendiskusikan penyerapan pelaksanaan di kebun, pendekatan untuk perencanaan manajemen hara dan pengukuran kinerja (keberhasilan) keberlanjutan (sustainability). Kebanyakan bab mencakup modul yang menegaskan studi kasus dari seluruh dunia yang menggambarkan berbagai aplikasi dari konsep ini. Studi kasus yang disampaikan menunjukkan sifat universal dari Penataan Hara 4T pada berbagai sistem pertanaman dari perusahaan kecil sampai perladangan komersial dan perkebunan.

Bahan ini menyediakan dasar untuk implementasi peningkatan manajemen hara berdasarkan prinsip-prinsip 4T. Ini bukanlah resep atau buku petunjuk... manajemen hara 4T merupakan spesifik lokasi. Pelaksanaan manajemen hara yang mendetail akan sangat bergantung pada tujuan petani, sumber daya yang tersedia, sistem pertanaman, kondisi tanah, kondisi iklim, dan faktor-faktor lainnya yang mempengaruhi setiap keputusan manajemen.

IPNI berminat untuk mengembangkan dan mempromosikan informasi ilmiah yang berkenaan dengan manajemen nutrisi tanaman. Penataan Hara 4T meliputi semua prinsip yang berhubungan dengan manajemen yang serupa. Kami berharap pedoman ini menjadi alat yang bermanfaat bagi petani dan penasehat mereka, petugas penyuluh, peneliti, pengatur/pamong praja, dan bagi peminat dalam manajemen hara tanaman.



Dr. Terry L. Roberts
Direktur Utama, International Plant Nutrition Institute

Ucapan Terima Kasih dan Catatan

Editor

Dr. Tom W. Bruulsema, Direktur IPNI, Amerika Utara Timur Laut.

Dr. Paul E. Fixen, Wakil Dirut Senior IPNI (Amerika dan Group Negara Oseania) dan Direktur Riset.

Gavin D. Sulewski, Editor IPNI.

Pengarang - IPNI Staf Ilmiah

Bab 1 Tujuan Pertanian Berkelanjutan

Dr. Terry L. Roberts, Presiden.

Dr. Armando Tasistro, Direktur, Meksiko dan Amerika Tengah.

Dr. Jin Ji-yun, Direktur (pensiun), China.

Bab 2. Konsep Penataan Hara 4T

Dr. Tom W. Bruulsema, Direktur, Amerika Utara Timur Laut.

Dr. Fernando Garcia, Direktur, Amerika Latin - Southern Cone.

Dr. T. Satyanaryana, Wakil Direktur, Asia Selatan.

Bab 3 Pendukung Prinsip Ilmiah – Tepat Sumber

Dr. Rob Mikkelsen, Direktur, Amerika Utara Bagian Barat.

Dr. Luís Prochnow, Direktur, Brasil.

Bab 4 Pendukung Prinsip Ilmiah – Tepat Dosis

Dr. Steve Phillips, Direktur, Amerika Tenggara.

Dr. Kaushik Majumdar, Direktur, Asia Selatan.

Bab 5 Pendukung Prinsip Ilmiah – Tepat Waktu

Dr. William (Mike) Stewart, Direktur, Selatan dan Tengah Great Plains.

Dr. Raúl Jaramillo, Direktur, Amerika Latin Bagian Utara.

Bab 6 Pendukung Prinsip Ilmiah – Tepat Tempat

Dr. T. Scott Murrell, Direktur, Amerika Tengah dan Utara.

Dr. Vladimir Nosov, Direktur, Rusia bagian Selatan dan Timur.

Bab 7 Penyesuaian Praktek Untuk Keseluruhan Kebun

Dr. Paul E. Fixen, Wakil Dirut Senior IPNI (Amerika dan Group Negara Oseania) dan Direktur Riset.

Dr. Adrian M. Johnston, Wakil Dirut (Group Asia dan Afrika).

Dr. José Espinosa, Direktur (pensiun), Amerika Latin Bagian Utara.

Bab 8 Kegiatan Pendukung

Dr. Tom L. Jensen, Direktur, Great Plains Bagian Utara.

Dr. Robert Norton, Direktur, Australia dan New Zealand.

Dr. Harmandeep Singh Khurana, Spesialis Pendukung Agronomik dan Teknikal.

Bab 9 Perencanaan Manajemen Hara dan Akuntabilitas

Dr. Rob Mikkelsen, Direktur, Amerika Barat Laut.

Dr. Tom L. Jensen, Direktur, Great Plains Bagian Utara.

Dr. Cliff Snyder, Direktur, Nitrogen.

Dr. Tom W. Bruulsema, Direktur, Amerika Utara Timur.

Kontributor Staf IPNI yang lain

AFRIKA: (Dr. Hakim Boulal, Dr. Mohamed El Gharous, Dr. Shamie Zingore); BRASIL: (Dr. Valter Casarin); CHINA: (Dr. Chen Fang, Dr. He Ping, Dr. Li Shutian, Dr. Tu Shihua); TIMUR TENGAH: (Dr. Munir Rusan); RUSIA: (Dr. Svetlana Ivanova); ASIA SELATAN: (Dr. Sudarshan Dutta); ASIA TENGGARA: (Dr. Thomas Oberthür).

Para editor menyampaikan penghargaan kepada Danielle Edwards, Assisten Editor IPNI, Don Armstrong (pensiun), dan Katherine Griffin (pensiun) atas kontribusinya. Terima kasih khusus disampaikan kepada Sharon Jollay dari Graphic Details, L.L.C. atas kreatifitas dan dedikasinya pada publikasi ini.

Sumber Tambahan bagi Penataan Hara Tanaman 4T

IPNI mendorong pengguna pedoman ini untuk membuka website IPNI <http://www.ipni.net/4R> untuk memperoleh tambahan sumber secara lengkap yang berkaitan dengan pedoman ini, yaitu:

1. Koleksi Modul dan Studi Kasus yang terkini tersedia untuk diunduh.
2. Petunjuk bagi yang bermaksud menyampaikan contoh kepada pustaka kami untuk Modul dan Studi Kasus.
3. Alternatif format eBook Pedoman Hara Tanaman 4T.
4. Slide Power Point lengkap yang menyertainya.
5. Sumber lain yang lengkap berkenaan dengan Penataan Hara 4T.

Umpan Balik



Kami menghargai umpan balik dari para pengguna pedoman ini. Silahkan kirim respon saudara ke seap@ipni.net

IPNI. 2017. 4T Hara Tanaman: Pedoman Peningkatan Manajemen Hara Tanaman, (T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.D. Sulewski), International Plant Nutrition Institute, Penang, Malaysia.

Diterjemahkan oleh: Annisa Laksmintari, Fauzia Trisnantari, Ruth Ninajanty, Witjaksana Darmosarkoro (Jakarta, Indonesia)



Bab 1

TUJUAN PERTANIAN BERKELANJUTAN

SEKITAR 30 TAHUN YANG LALU, Panel Penasehat untuk Keamanan Pangan, Pertanian, Kehutanan, dan Lingkungan (1987) ditanya oleh Gro Harlem Brundtland, kemudian Ketua Komisi Dunia untuk Lingkungan dan Pembangunan [*World Commission on Environment and Development (WCED)*], bagaimana umat manusia dapat dilindungi dari kelaparan berbasis lingkungan yang berkelanjutan. Dalam laporan mereka kepada WCED, mereka menyatakan: “Dalam beberapa dekade ke depan akan terjadi tantangan yang lebih besar pada sistem pangan dunia dibandingkan dengan tantangan lainnya. Upaya yang diperlukan untuk meningkatkan produksi yang selaras dengan kecepatan peningkatan permintaan, pada waktu yang sama mempertahankan integritas lingkungan dari sistem pangan, yang merupakan hal besar dalam ukuran dan kompleksitasnya. Mengingat hambatan yang akan diatasi, sebagian besar buatan manusia, lebih mudah untuk gagal dari pada berhasil.” Penilaian serius yang berlaku hari ini seperti yang terjadi masa lalu.

Laporan Panel Penasehat ini merupakan dasar rekomendasi untuk keamanan pangan dan keberlanjutannya dari Laporan Brundtland untuk WCED, yang berjudul *Our Common Future* (1987). Laporan tersebut mengemukakan perhatian yang besar “tentang percepatan kemerosotan **lingkungan manusia** dan **sumberdaya alam** dan konsekuensi dari kemerosotan tersebut pada **perkembangan ekonomi** dan **sosial**”. Tantangan untuk peningkatan produksi

pangan merupakan kegiatan ekonomik, sedangkan mempertahankan integritas lingkungan sistem pangan merupakan tujuan yang mendasari pertanian berkelanjutan.

Ada sejumlah karakter dari pertanian berkelanjutan, tetapi kebanyakan menitikberatkan pada mengendalikan kebutuhan pertumbuhan produksi tanpa mempertimbangkan sumberdaya alam dimana pertanian bergantung. Meskipun banyak definisi keberlanjutan (sustainability), ada kesepakatan secara umum berdasarkan kaidah umum pada sifat-sifatnya. Salah satu ciri penting adalah multi-dimensi. Konsep keberlanjutan tidak hanya berlaku untuk satu dimensi (contoh: sosial, ekonomi, atau lingkungan) secara tertutup, tetapi cenderung pada semua dimensi secara bersama.

Aplikasi dari pandangan multi-dimensi pada pertanian tersebut dapat dijalankan jika klasifikasi tradisional ke dalam komponen sosial, ekonomi, dan lingkungan dinyatakan dengan jelas. Satu cara yang efektif dalam menggambarkan multiplisitas sumberdaya yang terkait dalam pemberdayaan pertanian adalah dengan mengelompokkannya sebagai aset atau modal dalam lima kategori seperti yang disarankan oleh UNCTAD-UNEP (2008):

- ◆ **Modal Alam.** Modal ini terdiri dari sumberdaya yang digunakan untuk produksi pangan, serat, dan papan - seperti lahan, air, dan energi, sama dengan yang

digunakan dalam memproduksi dan memindahkan masukan yang perlu (seperti bahan mentah untuk pupuk). Selain itu, modal ini juga merupakan sumber alam atau pangan alam dan merupakan jasa lingkungan penting, seperti pembuangan limbah, siklus nutrisi, pembentukan tanah, pengendalian hama alami, pengaturan iklim, habitat margasatwa, proteksi badai dan pengendalian banjir, penyerapan karbon, penyerbukan, dan lanskap (pemandangan).

- ◆ **Modal Sosial.** Hal ini berkaitan dengan norma, nilai, dan tindakan yang mendorong masyarakat untuk bekerjasama yang tercermin dalam aktifitas bersama yang saling menguntungkan. Komunitas yang buruk hubungannya, kurang kepercayaan dan kemitraan akan menghadapi kesulitan lingkungan dan ketidak-amanan pangan. Organisasi petani dalam koperasi atau dalam grup berbasis teknologi menyediakan insentif untuk bekerjasama dan berbagi pengetahuan dan sumberdaya.
- ◆ **Modal Sumberdaya Manusia.** Hal ini termasuk keseluruhan kemampuan perorangan, dimana hal tersebut berdasarkan pengetahuan, ketrampilan, kesehatan, dan nutrisi. Kontribusi dari aset ini bergantung pada sejauh mana penggunaan keahlian masyarakat, dimana cenderung melalui promosi dari partisipasi dan pendidikan – baik formal maupun non formal – dan ketentuan kecukupan jaminan kesehatan. Keterlibatan petani dalam proses pembangunan alternatif teknologi baru (contoh melalui penelitian di kebun) merupakan contoh suatu pendekatan yang berkontribusi terhadap perkembangan modal sumberdaya manusia. Pendidikan yang lebih baik penting sekali ketika aktifitas pertanian seperti manajemen pemupukan memerlukan peningkatan.
- ◆ **Modal Fisik.** Ini merupakan cadangan sumberdaya buatan manusia seperti bangunan, infrastruktur pasar, skema irigasi, jaringan komunikasi, peralatan, mesin, dan energi dan sistem transportasi yang meningkatkan produktifitas tenaga kerja. Akses pada pasar sering terbatas karena kurangnya jaringan komunikasi yang memadai.
- ◆ **Modal Keuangan.** Modal ini berkaitan dengan aliran uang dalam sistem, yang bergantung pada faktor-faktor seperti harga, biaya, pendapatan, keuntungan, tabungan, kredit, dan subsidi. Kemiskinan tetap menjadi batu sandungan terbesar bagi pengembangan pertanian dan ketahanan pangan – terutama di negara berkembang – karena hal tersebut menghambat masyarakat untuk mengakses jalan yang dapat memperbaiki kehidupan mereka.

Keberlanjutan (sustainability) sistem pertanian dapat dinilai dari pengaruhnya terhadap aset yang dijabarkan di atas. Teknologi pertanian yang mendorong pertumbuhan gigih di alam, sosial, kemanusiaan, fisik, atau modal keuangan dapat dianggap berkelanjutan. Selanjutnya, mengingat sistem pertanian berinteraksi dengan lima tipe modal melalui putaran umpan balik, kepemilikan persediaan (stock) yang besar dari kelima macam aset tersebut membantu lebih jauh kegunaannya.



*Sistem pertanian **berkelanjutan** dapat dinilai dari pengaruhnya terhadap modal alam, modal sosial, modal sumberdaya manusia, modal fisik, dan modal keuangan.*

Pendekatan Penataan Hara 4T merupakan alat esensial dalam pengembangan sistem pertanian berkelanjutan karena aplikasinya dapat mempunyai pengaruh positif pada aset tersebut di atas.

Ada hubungan langsung antara pemberian sumber nutrisi yang tepat, pada dosis yang tepat, waktu yang tepat, dan tempat yang tepat, dan dampak yang menguntungkan dari komponen modal alam melalui kinerja/ produksi tanaman yang lebih baik, peningkatan kesehatan tanah, penurunan polusi lingkungan, dan perlindungan kehidupan margasatwa. Demikian pula, efek positif diharapkan pada modal keuangan, ketika keuntungan petani meningkat, membawa perbaikan dalam kualitas kehidupan mereka dan peningkatan kegiatan ekonomi dalam komunitasnya akan meningkatkan kualitas hidup mereka dan meningkatkan aktifitas ekonomi.

Namun demikian, implementasi Penataan Hara 4T dapat juga meningkatkan modal sosial, manusia, dan fisik.

Pengembangan praktek pengelolaan hara spesifik-lokasi, contohnya, menyiratkan pelaksanaan penelitian di kebun petani, kebutuhan keterlibatan aktif mereka, yang secara normal menghasilkan komunikasi yang lebih baik di antara pemangku kepentingan (petani, peneliti, serta perwakilan pengusaha dan pemerintah). Lebih lanjut, tingkat pendidikan partisipan juga akan meningkat melalui kedua aktifitas formal dan non formal. Ada beberapa contoh kesuksesan organisasi yang dijalankan oleh petani yang membangun dan menyebarkan teknologi pertanian.

Adopsi teknologi baru dan unggul berkaitan dengan Penataan Hara 4T dapat juga memiliki konsekuensi positif pada modal fisik, karena biasanya mencakup infrastruktur yang lebih baik untuk akses pasar – untuk masukan (*input*) dan keluaran (*output*) - dan untuk komunikasi. Jalan yang baik diperlukan untuk membawa pupuk dan masukan lain, dan untuk membawa keluar hasil panen. Peningkatan akses anggota dalam komunitas perkebunan terhadap informasi terkini melalui telepon selular dan peralatan komunikasi digital mencerminkan sumberdaya komunikasi yang lebih baik bagi masyarakat.

Ketika diperhatikan dari pandangan yang luas dan terintegrasi, Penataan Hara 4T dapat mempunyai efek jangkauan jauh pada keberlanjutan sistem pertanian yang meluas di luar manfaat langsung dalam hal hara tanaman. 🌱

PUSTAKA

Advisory Panel on Food Security, Agriculture, Forestry, and Environment & World Commission on Environment and Development. 1987. Food 2000: Global Policies for Sustainable Agriculture: A Report of the Advisory Panel on Food Security, Agriculture, Forestry, and Environment to the World Commission on Environment and Development. Zed Books. London and New Jersey. pp. 131.

UNCTAD-UNEP. 2008. Organic Agriculture and Food Security in Africa. Document UNCTAD/DITC/TED/2007/15. Geneva, Switzerland. pp. 47.

WCED. 1987. Our Common Future. The World Commission on Environment and Development. Oxford University Press. New York. pp. 400.

CATATAN



Bab 2

KONSEP PENATAAN HARA 4T

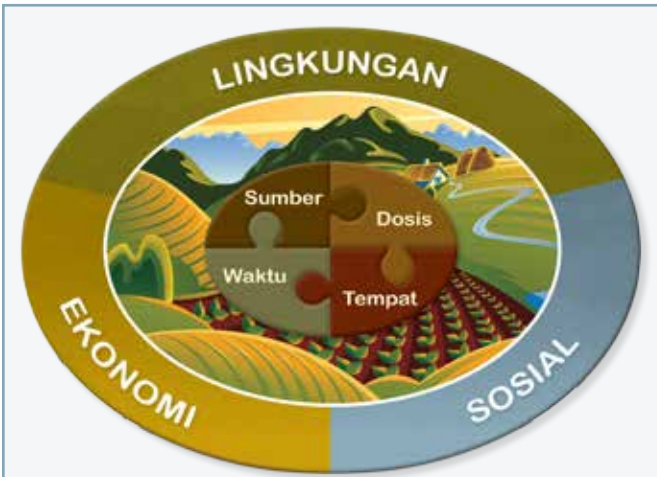
PENGELOLAAN HARA TANAMAN berlaku untuk berbagai sistem, dari area penggembalaan dan padang rumput yang ekstensif yang digunakan untuk hewan merumput (*grazing*), sampai perkebunan tanaman berbiyi setahun yang intensif, dan bahkan budidaya buah di rumah kaca yang terkendali, sayuran, dan tanaman hias. Sistem seperti itu tersebar di seluruh dunia pada beragam tanah dan iklim. Bab ini bertujuan untuk menjelaskan prinsip-prinsip umum hara tanaman pada berbagai sistem, dan kerangka kerja untuk perbaikan praktek secara terus-menerus dalam pengelolaan hara tanaman.

2.1 Tepat Sumber pada Dosis, Waktu, dan Tempat yang Tepat

Pemberian sumber hara tanaman yang tepat pada dosis, waktu, dan tempat yang tepat merupakan inti konsep Penataan Hara 4T. Keempat ‘tepat’ ini merupakan hal yang perlu untuk pengelolaan berkelanjutan (*sustainable*) hara tanaman: pengelolaan yang meningkatkan produktivitas tumbuhan dan tanaman secara berkelanjutan. Seperti yang dijabarkan pada bab sebelumnya, berkelanjutan terdiri dari dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Ketiga dimensi tersebut perlu dimasukkan dalam penilaian setiap praktek pengelolaan hara untuk menentukan apakah sudah ‘tepat’ atau belum.

Pupuk yang tepat – sumber, dosis, waktu, dan tempat – berhubungan dengan tujuan pengembangan berkelanjutan (*sustainable*) (Gambar 2.1). Untuk suatu sistem, pemangku kepentingan perlu menentukan tujuan umum, tetapi manajer merupakan personal yang tepat untuk menentukannya. Dalam rangka menentukan tujuan, pemangku kepentingan perlu memahami bagaimana pengelolaan hara tanaman mempengaruhi kinerja sistem tanaman. Pemangku kepentingan tidak hanya manajer dan penasehat mereka, tetapi juga orang yang membeli barang dan hidup di lingkungan sistem tersebut. Karena sistem produksi berbasis tanaman menyebar – dan masyarakat bergantung padanya untuk pangan, bahan bakar, serat, dan estetika – pada dasarnya setiap orang adalah pemangku kepentingan pada taraf tertentu. Dengan demikian, definisi kinerjanya akan termasuk produktivitas dan memperoleh keuntungan dari sistem (dimensi ekonomi), pengaruhnya pada tanah, air, udara dan keragaman hayati (dimensi lingkungan), dan pengaruhnya pada kualitas hidup, dan peluang kerja (dimensi sosial). Tujuan spesifik-perusahaan perlu diselaraskan dengan tujuan umum untuk perkembangan yang berkelanjutan pada suatu wilayah.

Manajemen pemupukan, dianggap ‘tepat’, harus mendukung tujuan utama pemangku kepentingan untuk hasil. Namun demikian, petani sebagai manajer lahannya, merupakan pengambil keputusan terakhir dalam penentuan



Gambar 2.1 Konsep Penataan Hara 4T mendefinisikan sumber, dosis, waktu dan tempat yang tepat untuk aplikasi pupuk seperti memproduksi hasil secara ekonomis, sosial, dan lingkungan yang diinginkan oleh semua pemangku kepentingan bagi ekosistem tanaman.

prakteknya – sesuai dengan tanah spesifik-lokasi, cuaca, dan peraturan setempat – hal tersebut mempunyai kemungkinan tertinggi dalam memenuhi tujuan. Karena kondisi setempat tersebut dapat mempengaruhi keputusan pemilihan praktek, kewenangan dan termasuk waktu implementasi, pengambilan keputusan setempat dengan informasi pendukung keputusan yang tepat dapat berjalan lebih baik dibandingkan dengan pendekatan peraturan tersentralisasi.

2.2 Praktek Pendukung Prinsip

Ilmu fisika, kimia, dan biologi menyajikan prinsip fundamental untuk hara mineral tanaman yang tumbuh di tanah. Penerapan ilmu-ilmu tersebut kepada manajemen praktis hara tanaman telah menyebabkan pengembangan disiplin ilmu kesuburan tanah dan hara tanaman. Manajemen komponen sumber, dosis, waktu dan tempat masing-masing memiliki ilmu yang unik yang menggambarkan proses-proses penting untuk hara tanaman. Prinsip ilmiah spesifik mengarahkan pengembangan praktek penentuan sumber, dosis, waktu, dan tempat yang tepat. Beberapa contoh prinsip kunci disajikan dalam **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Contoh prinsip-prinsip ilmiah penting dan praktek yang terkait

Empat Tepat (4T)				
	Sumber	Dosis	Waktu	Tempat
Contoh Prinsip-prinsip Ilmiah Penting	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pastikan penyediaan hara seimbang ◆ Cocokkan sifat tanah 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Evaluasi pen-yediaan hara dari semua sumber ◆ Evaluasi kebutuhan tanaman 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Evaluasi di-namika penyerapan tanaman dan penyediaan tanah ◆ Tentukan waktu resiko kehilangan 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Kenali pola perakaran tanaman ◆ Kelola variabilitas spasial
Contoh Pilihan Praktis	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pupuk komersial ◆ Pupuk kandang ◆ Kompos ◆ Sisa tanaman 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Uji tanah untuk hara ◆ Hitung nilai ekonomi ◆ Seimbangkan pengambilan oleh tanaman 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Sebelum tanam ◆ Saat tanam ◆ Saat pembun-gaan ◆ Saat pemuahan 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Tabur ◆ Lajur/lubang/ injeksi ◆ Aplikasi dosis yang berbeda





Sumber, dosis, waktu, dan tempat merupakan komponen yang perlu dan mencukupi untuk dijabarkan semua aplikasi hara pada tanaman apa saja.

Prinsip-prinsip ini dan prinsip penting hara tanaman lainnya akan dijabarkan lebih rinci dalam empat bab berikutnya.

Prinsip-prinsip tersebut sama secara umum, tetapi dalam praktek lokal bervariasi tergantung pada sifat khusus dari tanah, tanaman, iklim, cuaca, serta kondisi ekonomi dan sosial. Petani dan para penasehat pertanaman memastikan bahwa praktek yang mereka pilih dan dilakukan secara lokal adalah selaras dengan prinsip-prinsip ini.

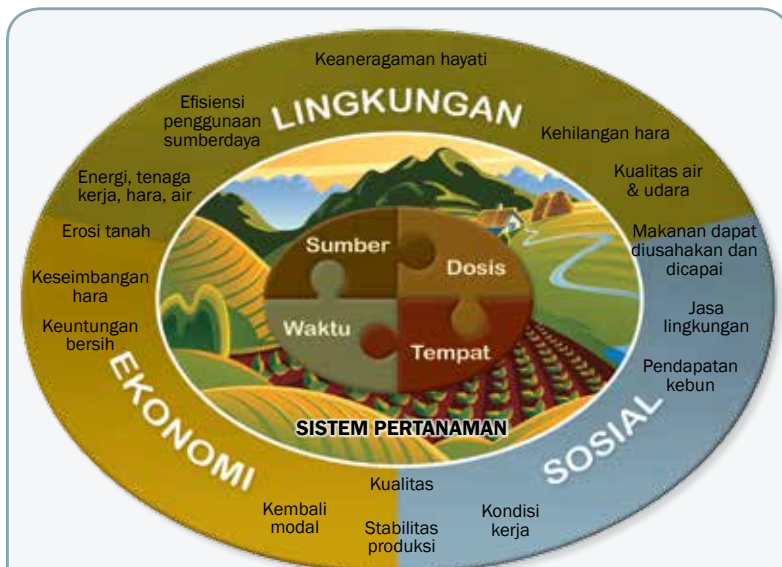
Keempat “tepat” menyajikan daftar kontrol (*checklist*) sederhana untuk mengevaluasi apakah tanaman sudah dipupuk dengan benar. Pertanyaan “Apakah tanaman menerima sumber hara yang benar pada dosis, waktu dan tempat yang tepat?” membantu petani dan penasehat mengidentifikasi peluang untuk meningkatkan pemupukan pada tanaman dan kebun tertentu.

Upaya seimbang diantara keempat tepat merupakan hal yang sesuai. Hal tersebut akan membantu menghindari terlalu banyak penekanan pada salah satu dan mengorbankan perhatian pada yang lainnya. Dosis kadangkala terlalu ditekankan, karena simpel dan langsung berkaitan dengan biaya. Sumber, waktu, dan tempat lebih sering diabaikan dan dapat mempunyai peluang lebih dalam peningkatan hasil.

2.3 Konsep 4T Sesuai dalam Sistem Pertanaman

Keempat “tepat” saling terhubung. Keempatnya harus berjalan selaras satu dengan lainnya dan dengan lingkungan sekeliling tanaman, tanah, iklim, dan pengelolaan. Untuk kebanyakan sistem, dimana tanaman dikelola untuk menghasilkan pangan, pakan, serat, bahan bakar, dan manfaat estetika, tanah merupakan media tempat tanaman tumbuh. Kesuburan tanah merupakan kebutuhan dasar bagi tanaman untuk tumbuh produktif. Walaupun kesuburan merupakan hal vital untuk produktivitas, tidak semua tanah subur merupakan tanah produktif. Drainase yang buruk, kekeringan, hama, penyakit, dan faktor-faktor lainnya dapat membatasi produktivitas, bahkan ketika tingkat kesuburan semua hara tanaman mencukupi. Untuk memahami sepenuhnya kesuburan tanah, kita harus mengetahui faktor-faktor lainnya yang mendukung atau membatasi produktivitas.

Tanaman bergantung pada tanah untuk pendukung mekanis, air, udara, dan hara. Tanaman juga bergantung pada faktor luar seperti sinar dan suhu. Semua faktor ini saling berhubungan dan mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan penyerapan tanaman melalui berbagai cara.



Gambar 2.2 Indikator kinerja mencerminkan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan dari kinerja sistem tanaman-tanah-iklim. Pemilihan dan prioritasnya bergantung pada nilai pemangku kepentingan.

Mengingat air dan udara menempati pori-pori dalam tanah, faktor-faktor yang mempengaruhi air akan mempengaruhi tanah dan udara. Pada gilirannya, air akan mempengaruhi suhu tanah. Ketersediaan hara dipengaruhi oleh ketiga hal: udara, air, temperatur... dan lainnya, ketika pertumbuhan akar tanaman memberikan respon terhadap tambahan tekanan termasuk pemadatan tanah, kedalaman tanah, dan keberadaan bermacam jenis mikro organisme dalam tanah.

Dengan demikian hara tanaman merupakan bagian dari dinamika sistem. Bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya dan dari waktu ke waktu. Tanggapan terhadap aplikasi hara bervariasi pada semua faktor tersebut di atas, dengan demikian mengelola hara tanaman merupakan kegiatan spesifik-lokasi. Dalam sistem produksi, hara secara konstan diambil dari tanah dalam bentuk tanaman dan produk hewani, serta melalui proses pencucian, penguapan, dan erosi. Beberapa bentuk hara dapat diikat oleh reaksi kimia oleh mineral liat atau bagian-bagian tanah lainnya. Bahan organik dan organisme tanah terimobilisasi, kemudian melepaskan hara.

Praktek nutrisi tanaman yang berinteraksi dengan system sekitar tanaman-tanah-iklim (**Gambar 2.2**). Untuk penggunaan pupuk agar berkelanjutan, harus meningkatkan sistem tanaman. Kinerja sistem dipengaruhi tidak hanya oleh 4T, tetapi juga oleh cara hal tersebut berinteraksi dengan praktek manajemen lainnya, seperti pengolahan tanah, drainase, pemilihan kultivar, perlindungan tanaman, pengendalian gulma, dan sebagainya. Sistem tanaman-tanah-iklim termasuk faktor-faktor potensial produksi genetik, gulma, hama, penyakit, mikoriza, struktur dan tekstur tanah, pemadatan, salinitas, suhu, hujan, dan penyinaran matahari. Faktor-faktor tersebut berinteraksi dengan pengelolaan nutrisi tanaman.

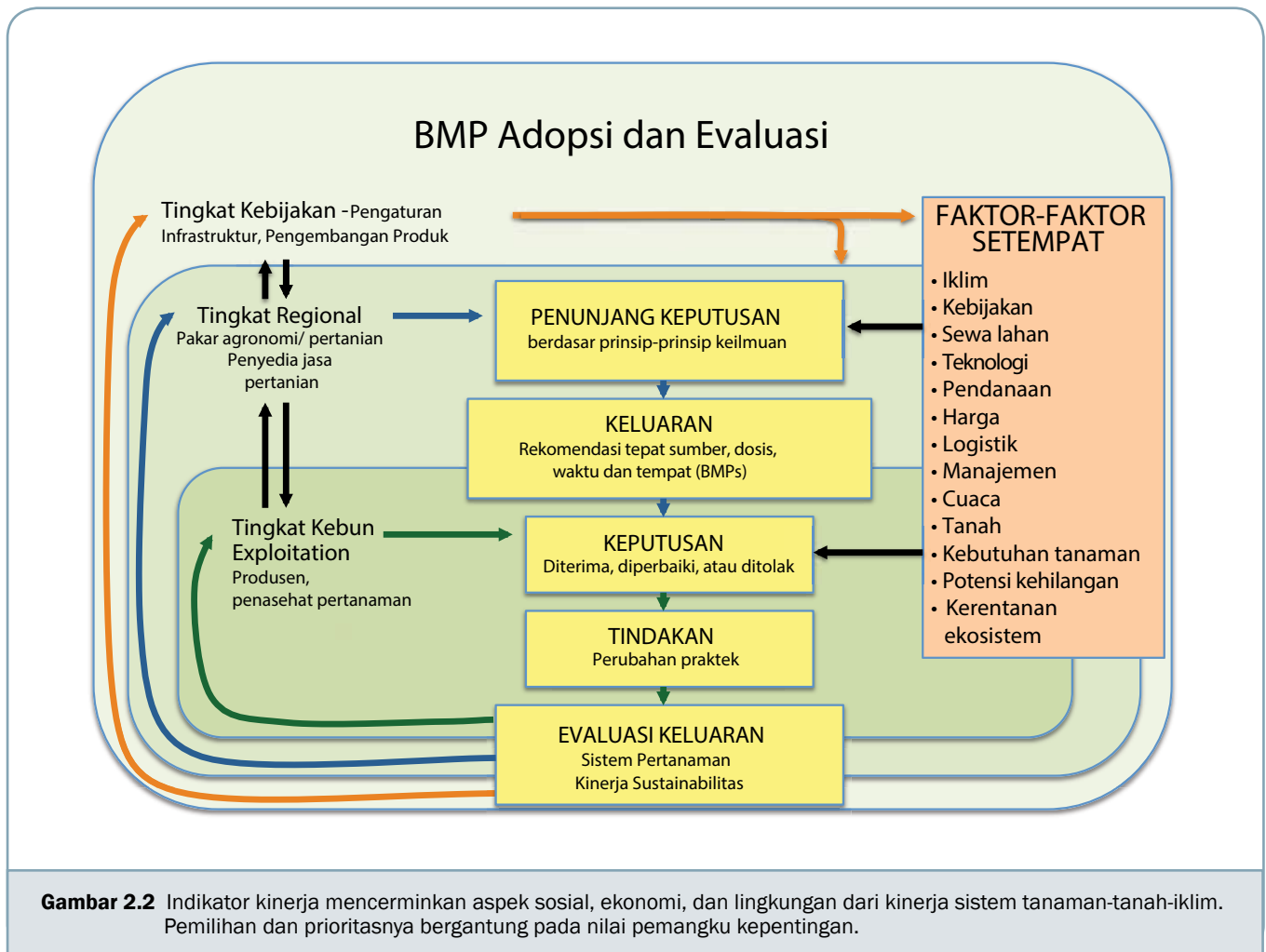
Banyak aspek kinerja dipengaruhi oleh tanaman dan pengelolaan tanah karena mereka mestinya manajemen aplikasi hara. Sebagai contoh, efisiensi penggunaan hara meningkat ketika ditanam kultivar dengan potensi produksi tinggi. Indikator kinerja disajikan dalam **Gambar 2.2** menggambarkan kompleksitas pertanian. Banyak efisiensi penggunaan sumberdaya menunjukkan pertukaran (*trade-offs*): ketika sebuah sumberdaya yang digunakan berjumlah lebih kecil, efisiensi penggunaannya meningkat atas beban biaya yang lain jika produktivitas menurun. Detail lebih lanjut dari indikator kinerja terpilih dapat ditemukan dalam Bab 9.3.

Sistem produksi tanaman adalah kompleks dan dapat menanggapi kondisi yang tidak terantisipasi pada aplikasi hara. Dengan demikian keilmuan yang melatar-belakangi praktek aplikasi hara tertentu perlu menjabarkan bagaimana praktek tersebut berlaku pada tingkat dasar (contohnya, kimia) dan mengukur hasil relatif kinerja sistem pertanian (contohnya, agronomi). Ilmu seluruh sistem yang mengukur pengaruh seluruh

sistem kinerja merupakan hal penting untuk perbaikan berkesinambungan dari praktek pengelolaan.

Pertanyaan ?

- Aspek yang paling penting dari perkembangan berkelanjutan (*sustainable*) adalah
 - ekonomik.
 - sosial.
 - lingkungan.
 - keseimbangan dari ketiga di atas.
- Prinsip keilmuan membimbing pengembangan dari
 - tim pemangku kepentingan.
 - kombinasi spesifik-lokasi dari sumber, dosis, waktu, dan tempat.
 - emisi nitro oksida.
 - tujuan keberlanjutan.
- Tepat sumber, dosis, waktu, dan tempat adalah
 - independen untuk keempat tepat tersebut dan praktek lainnya.
 - saling terhubung tetapi independen terhadap praktek pengelolaan tanaman.
 - saling terhubung dan berkaitan terhadap praktek pengelolaan tanaman.
 - independen dari pengelolaan pupuk.



2.4 Perbaikan Terus-menerus dengan Mengevaluasi Hasil

Sebelum, dan **Gambar 2.1** dan **2.2**, menjabarkan lingkup pengelolaan hara tanaman dan kebutuhan untuk perbaikan praktek. Saat ini, kita perlu memberikan perhatian lebih rinci pada aktivitas masyarakat yang membuat perbaikan terjadi. Konsep Penataan Hara 4T memandang siklus aktivitas dan evaluasi kinerja pada beberapa tingkat (**Gambar 2.3**). Siklus-siklus ini dapat mengikutsertakan produsen dan penasehat pertanian pada tingkat kebun, pakar pertanian dan penyedia jasa pertanian pada tingkat regional, serta pemerintah dan industriawan pada tingkat kebijakan. Masing-masing tingkat berusaha untuk memfasilitasi adaptasi praktek pada faktor spesifik-lokasi setempat agar memenuhi tujuan kinerja yang berkelanjutan.

Pada tingkat sistem produksi kebun dan lokal, para produsen dan penasehat mereka membuat keputusan – berdasar faktor lokal setempat – dan mengimplementasikannya. Selanjutnya mereka mengevaluasi hasil dari keputusannya untuk menentukan keputusan apa yang akan dibuat untuk siklus berikutnya. Idealnya penilaian kinerja praktek dilaksanakan berbasis semua indikator sebagai pertimbangan penting bagi

pemangku kepentingan. Pada dasarnya, hal ini merupakan praktek manajemen adaptif – proses yang sedang berjalan dari pengembangan perbaikan praktek untuk produksi yang efisien dan konservasi sumberdaya dengan penggunaan pembelajaran aktif (*participatory*) melalui penilaian sistematis terus-menerus. Sebagai petunjuk yang wajar dalam proses ini, penting bahwa penasehat pertanian mempunyai beberapa tingkat sertifikasi profesional dan pelatihan.

Para petani dan manajer mengenali aspek lingkungan dan sosial berhubungan dengan upaya mempertahankan perusahaannya untuk generasi yang akan datang. Bagaimanapun, keuntungan ekonomi merupakan hal mendasar bagi keberlanjutan sebuah perusahaan, dan kadang-kadang konflik dengan tujuan lingkungan dan aktifitas sosial. Motivasi bagi manajer untuk menangani sepenuhnya ketiga aspek dapat disediakan melalui program yang memuat pengenalan (contoh: *Penyeimbangan* karbon berkaitan dengan mitigasi gas rumah kaca).

Tingkat regional termasuk industri jasa pertanian (penjual input tanaman dan penyedia jasa pertanian), mengingat mereka membuat keputusan yang berpengaruh terhadap kapasitas pengiriman sumber hara tanaman yang tepat,

pada jumlah yang tepat serta pada waktu dan tempat yang tepat untuk memenuhi kebutuhan produsen. Ada tantangan logistik dalam pengiriman dan distribusi hara pupuk, dimana industri jasa pertanian dapat memenuhinya.

Tingkat regional juga termasuk ilmuwan agronomi yang bekerja untuk mengembangkan dan menyampaikan pendukung keputusan kepada manajer. Hasil mereka adalah rekomendasi sumber, dosis, waktu dan tempat yang tepat – berkaitan lagi dengan faktor setempat. Sistem pendukung keputusan perlu evaluasi terus-menerus dan perbaikan untuk mengakomodasi perubahan-perubahan adanya teknologi, dan perubahan-perubahan dalam sistem tanaman-tanah-iklim.

Hasil sistem pendukung keputusan memerlukan validasi dalam sistem produksi tanaman yang sesungguhnya. Validasi dapat termasuk banyak indikator kinerja yang sama selama hal tersebut digunakan pada tingkat praktek. Penyedia jasa pertanian pada sektor swasta dapat juga berpartisipasi pada validasi tersebut melalui pembentukan database tanggap tanaman regional. Partisipasi profesional dari para penasehat mereka beserta ilmuwan agronomi dapat berkontribusi terhadap peningkatan dukungan keputusan yang diberikan oleh penasehat tanaman komersial.

Tingkat kebijakan mencakup pengaturan dan kerangka kerja institusi dimana produsen, manajer, penasehat, industri jasa pertanian, dan institusi penelitian lanjutan beroperasi. Hal tersebut juga termasuk pengambilan keputusan pada infrastruktur yang menggerakkan transportasi dan pengiriman hara tanaman dan komoditas tanaman dan mendukung untuk pendidikan dan penelitian. Aktivitas industri dalam pengembangan produk pupuk baru juga memainkan peranan penting di tingkat ini. Tingkat ini juga termasuk forum dimana input pemangku kepentingan diformulasikan ke dalam indikator kinerja dan tujuan spesifik. Dimanapun kemungkinan, penentuan tujuan yang berhubungan dengan kinerja sistem, lebih baik disusun dengan inisiatif yang ada daripada mengaplikasikan pengaturan pada praktek spesifik, dan tampaknya dapat menghasilkan kemajuan keberlanjutan yang lebih baik.

Konsep Penataan Hara 4T berkaitan dengan praktek manajemen untuk tujuan keberlanjutan pada semua tingkat, termasuk tingkat kebun. Meminta petani untuk menentukan tujuan keberlanjutan mereka mendorong komitmen dan partisipasi yang lebih tinggi serta mengurangi reaksi negatif yang cenderung muncul dari pembebanan sistem akuntansi berkelanjutan dari kelompok lainnya. Adopsi dari rencana pengelolaan hara 4T dapat termasuk identifikasi tujuan keberlanjutan tersebut.

Indikator dapat ditunjukkan dalam banyak cara, mempengaruhi persepsi oleh pemangku kepentingan. Pemilihan interval waktu untuk suatu kecenderungan

Pertanyaan



4. Berdasarkan prinsip keberlanjutan, pemangku kepentingan perlu menyediakan input pada pemilihan dari
 - a. indikator kinerja.
 - b. praktek spesifik-lokasi.
 - c. sumber, dosis, waktu, dan tempat.
 - d. praktek pengelolaan pupuk.
5. Keputusan terakhir pada pemilihan kombinasi spesifik lokasi dari sumber, dosis, waktu, dan tempat seharusnya dibuat oleh
 - a. yang berwenang mengatur.
 - b. manajer tanaman.
 - c. peneliti yang memenuhi syarat.
 - d. tim pemangku kepentingan.
6. Praktek pengelolaan pupuk harus divalidasi dengan penilaian kinerja berbasis
 - a. peningkatan produksi tanaman pada plot penelitian.
 - b. peningkatan produksi tanaman pada plot dalam kebun.
 - c. semua indikator yang dianggap penting oleh pemangku kepentingan.
 - d. keuntungan lingkungan.
7. Praktek pengelolaan pupuk berbasis keilmuan yaitu yang
 - a. berbasis pada pengalaman setempat pada masa lalu.
 - b. konsisten dengan prinsip keilmuan dan divalidasi melalui uji lapangan.
 - c. secara khusus dijabarkan dalam peraturan.
 - d. netral dari sisi lingkungan.

(*trend*) adalah penting. Perubahan jangka pendek dapat menyesatkan. Mengingat keberlanjutan merupakan hal jangka panjang, menggunakan interval waktu terpanjang yang memungkinkan dapat menjadi pendorong. Kontes dapat merupakan hal penting. Ketika keseimbangan hara yang disajikan menunjukkan hanya kelebihan, kekurangan, atau rasio keluaran terhadap masukan, lingkup aliran hara masuk dan keluar dari areal pertanaman tidak terlihat. Penyajian keseimbangan hara menyeluruh dapat mengarahkan kepada persepsi yang berbeda.

Pertanyaan




8. Kombinasi yang benar dari sumber, dosis, waktu, dan tempat pemupukan memastikan
 - a. produksi tanaman tertinggi yang memungkinkan.
 - b. kehilangan hara minimum ke dalam air.
 - c. kehilangan hara minimum ke udara.
 - d. kesempatan terbaik untuk mencapai tujuan keberlanjutan.

9. Indikator kinerja yang paling penting dari pengelolaan pemupukan adalah
 - a. efisiensi penggunaan hara.
 - b. produksi tanaman.
 - c. kualitas tanaman.
 - d. ditentukan oleh pemangku kepentingan.

10. Indikator kinerja mencerminkan kemajuan pengelolaan pemupukan dalam membantu menyempurnakan
 - a. kualitas air.
 - b. kualitas udara.
 - c. produksi tanaman.
 - d. sustainabilitas.

Kesimpulan

SUMBER, DOSIS, WAKTU dan TEMPAT saling berhubungan dalam pengelolaan hara. Tidak ada salah satu dari empat hal tersebut yang benar jika salah satunya salah. Hal yang memungkinkan pada suatu kondisi ada lebih dari satu kombinasi yang tepat, tetapi jika salah satu dari keempat hal tersebut berubah, yang lainnya juga berubah. Empat T harus bekerja secara selaras antara satu dengan lainnya dan sistem pertanian serta pengelolaan lingkungan. Penataan 4T menekankan pengaruh dari kombinasi dari pilihan pengelolaan pada keluaran, atau kinerja, menuju penyempurnaan keberlanjutan.

Setiap aplikasi hara dapat dijabarkan sebagai kombinasi dari sumber, dosis, waktu, dan tempat. Prinsip-prinsip keilmuan mendasar yang mengatur setiap pilihan yang tepat adalah khusus untuk setiap kategori. Keempat bab selanjutnya, bab 3 sampai 6, secara terpisah menjabarkan prinsip-prinsip spesifik untuk masing-masing dari 4T. Bab tersebut di atas diikuti Bab 7 sampai 9, yang sekali lagi, fokus pada integrasi dari 4T pada pengelolaan adaptif keseluruhan sistem perkebunan, pada praktek mendukung keputusan berkaitan dengan pilihan kombinasi 4T, dan akuntabilitas kombinasi tersebut yang diungkapkan dalam perencanaan penataan hara. 

PUSTAKA

- Bruulsema, T.W., P.E. Fixen, and A. Olegario. 2010. *Dalam* Proceedings, OECD Workshop on Agri-Environmental Indicators, Leysin, Switzerland, 23-26 March, 2010. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, France. Paper.
- Fixen, P.E. 2007. *Dalam* Fertilizer Best Management Practices, First edition, IFA, Paris, France.
- IFA. 2009. The Global “4R” Nutrient Stewardship Framework: Developing Fertilizer Best Management Practices for Delivering Economic, Social and Environmental Benefits. Paper drafted by the IFA Task Force on Fertilizer Best Management Practices. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
- Roberts, T.L. 2009. Right product, right rate, right time and right place ... the foundation of best management practices for fertilizer. [On-line].

CATATAN



Bab 3

PRINSIP-PRINSIP ILMIAH PENDUKUNG TEPAT SUMBER

Inti prinsip ilmiah yang menentukan tepat sumber untuk satu kesatuan kondisi spesifik, sebagai berikut:

- ◆ **Perhatikan dosis aplikasi, waktu aplikasi dan tempat aplikasi.**
- ◆ **Berikan hara dalam bentuk tersedia bagi tanaman.** Hara yang diaplikasi tersedia bagi tanaman, atau dalam bentuk yang berubah tersedia bagi tanaman pada waktunya dalam tanah.
- ◆ **Cocokkan sifat fisik dan kimia tanah.** Contohnya antara lain menghindari pemupukan nitrat pada lahan yang tergenang, aplikasi permukaan pada tanah dengan pH tinggi.
- ◆ **Kenali sinergi di antara unsur hara dan sumber.** Contoh antara lain interaksi P-seng, N meningkatkan ketersediaan P, pupuk melengkapi pupuk kandang, dan sebagainya.
- ◆ **Kenali kompatibilitas campuran.** Kombinasi sumber tertentu menarik air ketika dicampurkan, mengurangi keseragaman aplikasi bahan yang dicampur; ukuran granul harus serupa untuk menghindari pemisahan produk, dan sebagainya.
- ◆ **Kenali manfaat dan kepekaan pada unsur terkait.** Kebanyakan mempunyai ion penyerta yang bermanfaat, netral atau merugikan bagi tanaman. Contohnya, klorida

(Cl) menyertai K pada *muriate of potash* (kalium klorida) yang bermanfaat untuk jagung, tetapi dapat merugikan bagi kualitas tembakau dan beberapa buah-buahan. Beberapa sumber pupuk P dapat mengandung Ca dan S tersedia bagi tanaman, dan sedikit Mg dan hara mikro.

- ◆ **Kendalikan pengaruh unsur-unsur yang tidak merupakan hara.** Sebagai contoh, tambang alam beberapa batu fosfat mengandung unsur mikro bukan hara. Jumlah unsur-unsur ini yang ditambahkan harus dijaga dalam ambang batas yang dapat diterima.

Prinsip-prinsip inti tersebut dipadukan dalam konsep yang disajikan selanjutnya dalam bab ini.

Semua tanaman memerlukan sedikitnya 17 unsur hara esensial untuk melengkapi siklus hidupnya. Hal ini termasuk 14 mineral hara tercantum dalam **Tabel 3.1** dan tiga unsur bukan mineral karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Hara makro diperlukan tanaman dalam jumlah yang relatif besar, sedangkan hara mikro digunakan dalam jumlah yang lebih kecil. Ketersediaan hara sedikitnya satu atau lebih hara esensial pada beberapa tanah asli terlalu rendah bagi tanaman untuk menampakkan potensial genetik pertumbuhannya. Pada ekosistem tidak dipupuk, tanaman asli beradaptasi dengan kekurangan hara melalui pembatasan kecepatan tumbuh, suatu kondisi yang tidak diterima petani dalam upaya memperoleh produksi pangan

Tabel 3.1 Sifat-sifat penting hara mineral tanaman

Kategori	Hara	Simbol	Bentuk primer penyerapan	Bentuk utama dalam cadangan tanah	Relatif jml atom dalam tanaman
Hara makro	Nitrogen	N	nitrat, NO_3^- , amonium, NH_4^+	bahan organik	1 juta
Hara makro	Fosfor	P	fosfat, HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-	bahan organik, mineral	60.000
Hara makro	Kalium	K	ion kalium, K^+	mineral	250.000
Hara makro	Kalsium	Ca	ion kalsium, Ca^{2+}	mineral	125.000
Hara makro	Magnesium	Mg	ion magnesium, Mg^{2+}	mineral	80.000
Hara makro	Sulfur	S	sulfat, SO_4^{2-}	bahan organik, mineral	30.000
Hara mikro	Klorin	Cl	kloride, Cl^-	mineral	3.000
Hara mikro	Besi	Fe	besi, Fe^{2+}	mineral	2.000
Hara mikro	Boron	B	asam borat, H_3BO_3	bahan organik	2.000
Hara mikro	Mangan	Mn	ion mangan, Mn^{2+}	mineral	1.000
Hara mikro	Seng	Zn	ion seng, Zn^{2+}	mineral	300
Hara mikro	Tembaga	Cu	ion tembaga, Cu^{2+}	bahan organik, mineral	100
Hara mikro	Molibdenum	Mo	molibdat, MoO_4^{2-}	bahan organik, mineral	1
Hara mikro	Nikel	Ni	ion nikel, Ni^{2+}	mineral	1

Unsur hara tambahan – termasuk natrium (Na), kobalt (Co), and silika (Si) – menunjukkan sebagai unsur esensial pada sebagian tetapi tidak semua spesies tanaman.

dan manfaat ekonomi.

Setiap hara tanaman mempunyai fungsi spesifik dalam tanaman; beberapa di antaranya cukup sederhana sedangkan lainnya menjalankan reaksi biokimia yang sangat rumit. Ketika hara sudah dalam tanaman, sumber asli dari hara mineral sudah tidak penting lagi.

3.1 Dari Mana Asal Hara

Mengingat konsentrasi beberapa hara tanaman sering kurang dari optimal dalam tanah, umumnya petani menambahkannya dari dalam kebun dan dari luar kebun. Sumberdaya dari dalam kebun termasuk tanaman penutup tanah, pupuk kandang, dan sisa tanaman. Sumberdaya dari luar kebun dapat termasuk beragam hara yang diproses dan tidak diproses serta penyubur (*amendment*) tanah.

Dari semua unsur hara, kecuali N berasal dari mineral bumi yang secara alami terjadi. Industri global mutakhir telah mengembangkan ekstraksi hara tersebut dan menjadikan bentuk konsentrat yang nyaman untuk ditangani dan dikirim, dan yang menyediakan hara cepat-tersedia bagi akar tanaman. Beberapa mineral bumi dapat digunakan langsung sebagai sumber hara tanaman atau penyubur tanah, tetapi banyak yang lainnya memerlukan proses untuk meningkatkan kelarutannya atau mengkonsentrat haranya untuk efisiensi pengiriman. Mineral tidak larut melepaskan hara tanaman sangat lambat ke dalam larutan tanah.

Tanaman kacang-kacangan/ leguminosa (seperti alfalfa, semanggi, Vetch, dan kacang-kacangan) mempunyai kemampuan sebagai inang bakteri (*Rhizobia*, *Bradyrhizobia*, *Sinorhizobia*, dsb.) dalam bintil akar. Bintil tersebut merupakan tempat dimana N_2 gas dari atmosfer diubah menjadi bentuk N yang tersedia bagi tanaman. Leguminosa yang diambil dari lahan sebagai jerami atau pakan ternak tidak meninggalkan residu N dalam jumlah besar ke dalam tanah. Leguminosa yang ditanam dan ditinggalkan (disebut pupuk hijau) berkontribusi mengikat N untuk menyehatkan tanaman dan menyusun bahan organik tanah. Residu N yang dari tanaman penutup tanah akan sangat beragam bergantung pada spesies tanaman dan kondisi setempat.

Pupuk kandang dan kompos merupakan sumber hara tanaman yang sangat baik ketika digunakan secara benar. Kotoran hewan mengandung semua unsur dasar bagi tanaman, walaupun rasio relatifnya sering berbeda dengan jumlah relatif yang dibutuhkan. Karena beberapa bentuk N, P, dan S adalah organik, bahan-bahan tersebut memerlukan waktu untuk hancur (mineralisasi) sebelum bahan tersebut dikonversi menjadi bentuk yang dapat diasimilasi oleh akar. Kompos yang mengalami dekomposisi terkendali selama masa inkubasi, menghasilkan produk organik yang relatif stabil dan lebih lambat terdekomposisi dibandingkan dengan kotoran hewan. Hara dalam kotoran hewan dan kompos berasal dari pakan dan jerami dari kebun yang tampaknya memperoleh pupuk; hara yang ditambahkan pada siklus tanaman dari kebun sekitarnya dan yang jauh. Tentu saja

hewan tidak menghasilkan hara dalam pencernaannya, tetapi hanya kotoran yang tidak terserap dalam makanannya.

Hampir semua hara memasuki tanaman melalui sistem perakaran. Bentuk primer penyerapannya disajikan dalam **Tabel 3.1**. Pemupukan daun dapat bermanfaat pada situasi tertentu, seperti defisiensi yang mulai muncul atau penyediaan hara tambahan pada saat periode kebutuhan puncak. Namun demikian, tanaman beradaptasi untuk mendapatkan hampir seluruh haranya dari tanah melalui perakarannya.

3.2 Pemilihan Sumber yang Tepat

Ide untuk memilih sumber hara yang paling cocok tampaknya sederhana, tetapi banyak faktor yang harus diperhatikan saat menentukan pilihan ini. Sebagai tambahan untuk keenam prinsip inti keilmuan yang disebutkan terdahulu, faktor-faktor seperti pengiriman pupuk, masalah lingkungan, harga produk, dan kesulitan ekonomi dapat menjadi hal yang penting. Keputusan dapat dipengaruhi oleh ketersediaan beragam material pada jarak yang terjangkau. Aksesibilitas peralatan aplikasi pupuk juga mungkin mempersempit pilihan. Sangat menarik untuk bergantung pada tradisi dan pengalaman dalam membuat keputusan ini, tetapi penelaahan periodik terhadap faktor-faktor ini membantu petani memperoleh manfaat maksimum dari sumberdaya yang bernilai dan investasi ekonomi mereka yang signifikan, serta perhatian terhadap material pupuk yang baru.

Pemilihan sumber pupuk yang tepat dimulai dengan penentuan hara apa yang secara aktual dibutuhkan untuk memenuhi target produksi. Hara yang menjadi pembatas dapat ditentukan melalui penggunaan analisis tanah dan tanaman, uji jaringan, petak omisi (*omission*) hara, sensor warna daun atau gejala defisiensi visual (lihat Bab 8). Semua hal ini dikerjakan sebelum keputusan aplikasi pemupukan. Hanya menduga hara yang dibutuhkan dapat menyebabkan masalah serius berhubungan dengan kekurangan atau kelebihan pemupukan dan dapat menyebabkan pada pengabaian hara tertentu sampai muncul kekurangan yang akut. Pendugaan kebutuhan hara tertentu juga dapat menyebabkan pengembalian ekonomi yang buruk jika diberi berlebihan terhadap hara yang sudah cukup konsentrasinya.

Merupakan hal yang umum untuk fokus pada hara tunggal yang kekurangan daripada hara lainnya. Sebagai contoh, kekurangan N mudah untuk dideteksi dengan pengamatan pertumbuhan kerdil dan klorosis daun. Namun, manfaat maksimum dari aplikasi pupuk N tidak dapat tercapai jika kekurangan hara lainnya (seperti P dan K) tidak diperbaiki. Walaupun kita sering fokus pada hara secara individual, semua fungsi hara secara bersama mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat.

Setiap hara tanaman tersedia dalam bentuk kimia yang berbeda dan berlangsung dengan reaksi yang khas setelah masuk dalam tanah. Tanpa melihat sumber aslinya dan

Pertanyaan

- Salah satu dari 7 inti prinsip keilmuan yang menentukan **tepat sumber** untuk suatu rangkaian kondisi adalah untuk
 - mengaplikasikan hara dalam bentuk tersedia bagi tanaman.
 - menyesuaikan dengan sifat fisik dan kimia tanah.
 - mengabaikan kompatibilitas pencampuran.
 - menghilangkan pengaplikasian hara terkait.
- Sebuah hara dianggap sebagai hara esensial untuk pertumbuhan jika
 - tanah mengandung jumlah hara tersebut hanya sedikit.
 - tanaman membutuhkannya dalam bentuk elemen.
 - semua tanaman membutuhkannya untuk melengkapi siklus hidupnya.
 - dapat diserap oleh tanaman.
- Pemilihan sumber pupuk yang tepat harus berdasar pada
 - tradisi dan pengalaman.
 - hanya harga.
 - terarah hanya pada hara tunggal pada penyediaan terbatas.
 - penentuan hara mana yang menjadi pembatas.
- Bentuk kimia P dan K dalam pupuk adalah
 - dinyatakan sebagai setara P_2O_5 and K_2O .
 - P_2O_5 dan K_2O .
 - P dan K.
 - dikonversi ke bentuk elemental dengan faktor pengali 2,29.

Pertanyaan mengikuti ujian standar tetapi disusun untuk mengevaluasi hal-hal utama dan menstimulasi diskusi kelompok. Jawaban disajikan pada hal A-7.

reaktivitas tanah, hara harus dalam bentuk larut dan tersedia bagi tanaman sebelum hara dapat diserap oleh akar tanaman.

Pupuk normalnya dijual dengan mutu/ kandungan tertentu, atau garansi analisis minimum. Kandungannya dinyatakan dalam serangkaian angka yang menunjukkan kandungan persen hara berdasarkan berat. Angka pertama menunjukkan total N; kedua, P tersedia setara P_2O_5 , dan ketiga K dapat larut setara K_2O . Sebagai contoh, 100 kg pupuk 10-15-20 mengandung 10 kg N, 15 kg P_2O_5 , dan 20 kg K_2O . Untuk pupuk yang mengandung hara lainnya,

penambahan angka dapat dicantumkan bersama simbol hara; sebagai contoh, pupuk 21-0-0-24S mengandung 21% N dan 24% S.

Sebagai catatan bahwa bentuk kimia P dan K dalam pupuk bukan P_2O_5 atau K_2O . Namun, bentuk oksidanya menjadi unit tradisional yang digunakan dalam menyatakan pupuk ini. Pupuk berisi fosfat dan kalium dinyatakan masing-masing dalam kesetaraan P_2O_5 and K_2O . Untuk mengkonversi bentuk oksidanya ke bentuk elemen, gunakan faktor konversi sebagai berikut

$$P_2O_5 \times 0,437 = P$$

$$P \times 2,29 = P_2O_5$$

$$K_2O \times 0,830 = K$$

$$K \times 1,20 = K_2O$$

Pertanyaan



5. Pupuk majemuk dapat bermanfaat untuk
 - a. aplikasi pupuk tunggal.
 - b. memberikan rasio hara yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan tertentu.
 - c. menghilangkan potensial pemisahan partikel.
 - d. hara makro tanpa hara mikro.

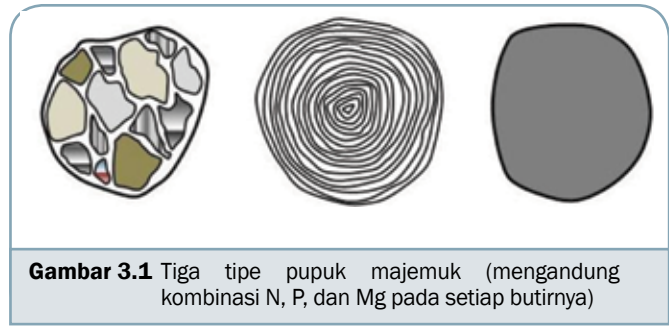
6. Pupuk cair populer karena
 - a. dicampur dengan pupuk granul.
 - b. dapat dengan mudah ditambahkan pada air irigasi.
 - c. dibuat dari komponen yang paling murah.
 - d. menggabungkan beberapa hara dalam satu partikel.

3.3 Bentuk Pupuk

Bentuk pupuk yang akan dipergunakan sering menjadi salah satu keputusan pertama yang dibuat.

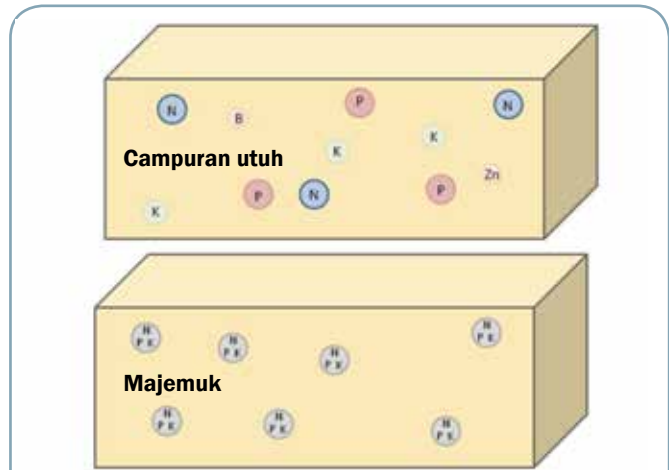
Pupuk Campuran mengandung berbagai pupuk granular dalam setumpuk yang akan memenuhi kebutuhan spesifik pelanggan. Pencampuran diatur dengan membedakan rasio hara untuk individu pertanaman dan kondisi tanah. Pupuk tersebut sangat populer karena dibuat dari komponen termurah dan dicampur dengan cara yang relatif sederhana dan peralatan yang tidak mahal. Individu komponen pupuk harus cocok (compatible) secara kimia dan fisik untuk pencampuran dan penyimpanan.

Perlu perhatian terhadap kemungkinan pemisahan (segregasi) dari individu komponen-komponennya yang dapat terjadi selama pengangkutan dan penanganan. Operator pupuk campur memperhatikan hal ini dan mencoba untuk menyelaraskan keseragaman ukuran butiran dari hara yang berbeda untuk meminimalkan segregasi material yang dicampur selama pengangkutan.



Gambar 3.1 Tiga tipe pupuk majemuk (mengandung kombinasi N, P, dan Mg pada setiap butirnya)

Pupuk Majemuk merupakan campuran dari berbagai hara dalam satu butir pupuk padat (**Gambar 3.1**). Pendekatan ini berbeda dengan pencampuran pupuk tunggal yang dicampur bersama untuk memperoleh komposisi hara rata-rata. Setiap partikel pupuk majemuk menyajikan campuran hara yang segera larut dalam tanah dan menghilangkan potensi segregasi partikel selama pengangkutan dan aplikasi (**Gambar 3.2**). Distribusi hara mikro yang seragam pada zona perakaran juga memungkinkan jika hara mikro disatukan dalam pupuk



Gambar 3.2 Distribusi hara dalam tanah membandingkan campuran utuh dan pupuk majemuk. Distribusi lebih seragam pada pupuk majemuk dapat menjadi penting untuk aplikasi hara dosis rendah, campuran utuh memberikan kesempatan lebih besar untuk mencocokkan dengan dosis rekomendasi setiap hara

majemuk. Ada rasio hara tertentu yang umum tersedia untuk beragam aplikasi pertanian dan menawarkan kemudahan dalam membuat keputusan pupuk.

Pupuk Cair populer karena pupuk ini memungkinkan pencampuran dengan banyak hara dalam satu larutan yang jernih homogen yang dapat diaplikasikan seragam di lapangan. Pupuk cair ini



Pupuk cair

dapat dicampur khusus dan diaplikasikan sebagai pupuk awal, pemupukan terkonsentrasi untuk areal tereduksi, atau pemupukan awal setelah bibit/benih tumbuh. Pupuk ini sangat populer sebagai tambahan pada air irigasi. Cairan mudah ditangani dan merupakan *pembawa* yang sangat baik untuk berbagai hara mikro, herbisida, dan pestisida. Pencampuran beberapa material dapat mengurangi jumlah rit (*trips*) yang dibutuhkan di lapangan, sehingga menurunkan pemadatan tanah dan konsumsi bahan bakar. Tidak semua pupuk cair kompatibel dengan pupuk cair lainnya ketika dicampur. **Gambar 3.3** menyajikan panduan untuk kompatibilitas pencampuran bahan cair. Selalu direkomendasikan untuk mencampur sejumlah kecil pupuk atau bahan kimia di dalam wadah untuk menguji kesesuaian campuran sebelum mencampur dalam jumlah besar.



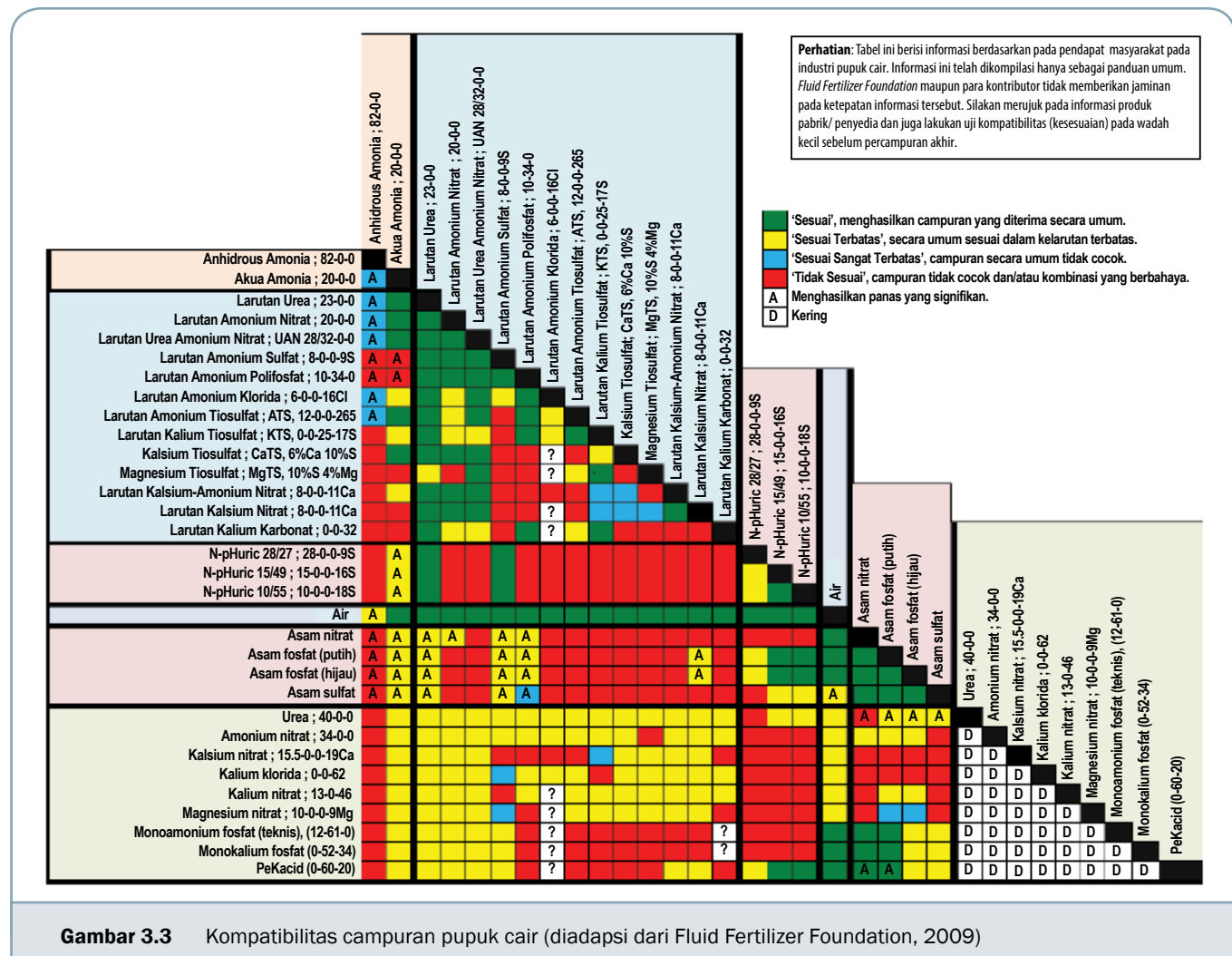
Pupuk yang diaplikasikan pada daun

Mengaplikasikan pupuk cair dengan air irigasi (*fertigasi*) umumnya dilakukan untuk menghemat upah tenaga kerja, meningkatkan fleksibilitas waktu aplikasi hara, dan meningkatkan efisiensi hara. Hal ini dilakukan pada kedua pemupukan sistem irigasi bertekanan (seperti tetes, mikrosprinkler, atau pivot) dan irigasi alur. Hal penting bahwa

hara untuk fertigasi tidak mengakibatkan penyumbatan pada peralatan irigasi atau secara kimiawi mengendap sebelum sampai pada areal target.

Ada banyak pupuk yang sangat baik yang kompatibel dengan sistem irigasi apapun. Perhatian khusus diperlukan ketika penambahan pupuk P pada setiap air irigasi yang mengandung banyak Ca dan Mg dalam rangka untuk menghindari pengendapan secara kimiawi dan menyumbat dalam pipa dan emitor. Juga diingat bahwa distribusi hara melalui fertigasi dapat tidak lebih baik dari keseragaman sistem pengairan dalam kebun.

Pupuk cair juga digunakan untuk nutrisi daun, penyemprotan hara terlarut pada daun. Teknik ini dapat efektif khususnya dalam mengatasi dan mencegah kekurangan hara atau memenuhi periode kebutuhan hara puncak ketika penyerapan akar tidak mencukupi kebutuhan tanaman. Namun demikian, hara daun umumnya dianggap sebagai suplemen terhadap penyerapan hara tanaman melalui akar. Banyak material dengan kelarutan tinggi digunakan sebagai pupuk daun untuk mengatasi setiap



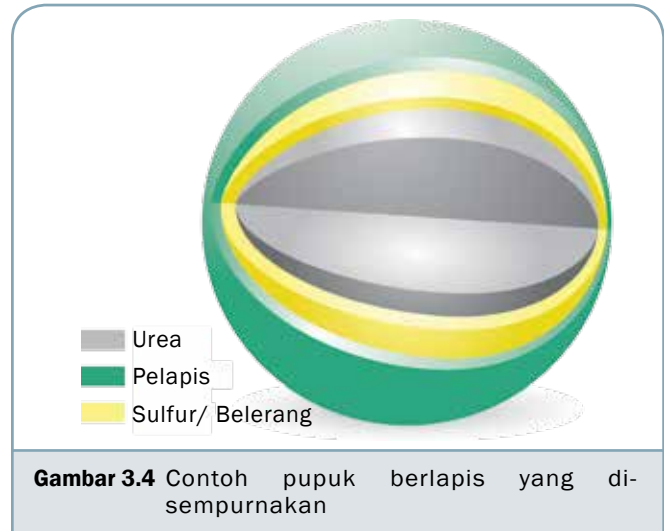
potensial defisiensi hara. Larutan disemprotkan pada permukaan daun umumnya relatif encer untuk menghindari kerusakan akibat garam (osmotik) pada daun. Ketika konsentrasi pupuk terlalu tinggi pada penyemprotan daun, jaringan daun dapat mengering dan rusak (umumnya disebut daun terbakar). Label pada produk harus diikuti dengan seksama untuk mencapai manfaat maksimum.

Pupuk Suspensi dibuat dari mensuspensikan (mencampur zat padat ke dalam cairan) sedikit partikel dalam larutan. Liat yang tersuspensi atau bahan untuk gel biasanya digunakan untuk menjaga agar partikel pupuk tidak mengendap dalam cairan. Suspensi memungkinkan penggunaan bahan pupuk dengan kelarutan rendah dibandingkan pada yang digunakan dengan pupuk cair, dan konsentrasi hara yang lebih tinggi dapat dicapai. Kuantitas yang besar hara mikro dapat dimasukkan dalam suspensi, demikian juga herbisida dan insektisida yang tidak sesuai untuk pupuk jernih. Beberapa tipe perata umumnya digunakan dalam tangki untuk menjaga suspensi tetap tercampur. Nozzle yang lebih besar digunakan untuk aplikasi ini dibandingkan pada aplikasi pupuk cair yang jernih.

Pupuk Ditingkatkan Efisiensi bukan merupakan satu kelompok material, tetapi terdiri dari produk atau teknologi yang umumnya memperbaiki efisiensi penggunaan pupuk melebihi standard praktis dan bahan.

Pupuk lambat tersedia dan pupuk lepas terkendali dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan hara. Terdapat beberapa

mekanisme untuk mengendalikan pelepasan hara dari butiran pupuk. Yang paling umum adalah penambahan lapisan pelindung polimer atau S pada pupuk untuk mengendalikan pelarutan atau pelepasan hara (**Gambar 3.4**). Kecepatan pelepasan umumnya berkisar dari beberapa minggu sampai beberapa bulan. Pupuk lambat tersedia lainnya dapat memiliki kelarutan yang rendah atau ketahanan terhadap dekomposisi mikroba untuk mengendalikan pelepasan hara. Masing-masing produk ini mungkin cocok untuk kondisi tertentu, tetapi tidak berarti bahwa produk-produk tersebut sesuai untuk semua kondisi. Produk tertentu harus sesuai dengan



Gambar 3.4 Contoh pupuk berlapis yang disempurnakan

Pertanyaan



7. Pupuk dengan pelepasan terkendali dapat meningkatkan efisiensi penggunaan hara
 - a. pada kondisi spesifik lapangan.
 - b. sama untuk semua hara.
 - c. dengan inaktivasi enzim urease.
 - d. pada semua kondisi lapangan.
8. Penghambat urease mengurangi kehilangan amonia terbanyak saat diaplikasikan dengan
 - a. urea ditabur pada permukaan tanah.
 - b. urea dibenam dalam tanah.
 - c. amonium sulfat ditabur pada permukaan tanah.
 - d. urea amonium nitrat dibenam dalam tanah.
9. Untuk jangka pendek setelah aplikasi, monoamonium fosfat (*MAP*) berbeda dari diamonium fosfat (*DAP*) dalam hal
 - a. *DAP* menyediakan fosfor dalam bentuk lebih tersedia bagi tanaman.
 - b. nitrogen dalam *DAP* akan digunakan tanaman lebih cepat.
 - c. Hanya *MAP* yang dikonversi menjadi polifosfat.
 - d. pH tanah di sekitar granul *MAP* akan lebih rendah.
10. Kebanyakan sumber pupuk kalium
 - a. mengandung kalium yang berbeda dalam bentuk kimianya.
 - b. perbedaan primer pada anion yang menyertainya.
 - c. harus dipilih berdasarkan pada harga saja.
 - d. lebih efektif dari pada pupuk kandang sebagai sumber kalium.

Pertanyaan 9 dan 10 mengacu pada modul seksi 3.3 pada halaman berikut ini.

tanah, tanaman, dan lingkungan yang tertentu agar dapat memperoleh manfaat maksimum. Nitrogen merupakan hara yang umumnya diharapkan pelepasannya terkendali, tetapi ada situasi ketika mempertahankan pelepasan hara lainnya juga diinginkan.

Penghambat biologis dan kimiawi kadang-kadang ditambahkan pada pupuk agar untuk sementara meningkatkan atau mengganggu reaksi tanah yang sangat spesifik. Penghambat nitrifikasi merupakan bahan tambahan (aditif) yang memperlambat konversi amonium ke nitrat dalam tanah yang dapat mengurangi kemungkinan pencucian nitrat atau denitrifikasi. Penghambat urease, adalah kelompok aditif lain, dapat digunakan dengan urea untuk sementara menghambat perubahan ke amonium dengan tidak mengaktifkan urease, enzim tanah umum. Pelambatan ini dapat mengurangi penguapan amonia ke atmosfer, khususnya ketika urea diaplikasikan pada permukaan tanah.

Bahan Polimer adalah polimer cair yang dikembangkan untuk mengikat secara sementara pada kation tanah dengan tujuan untuk mengurangi reaksi kimia yang dapat menurunkan kelarutan P.

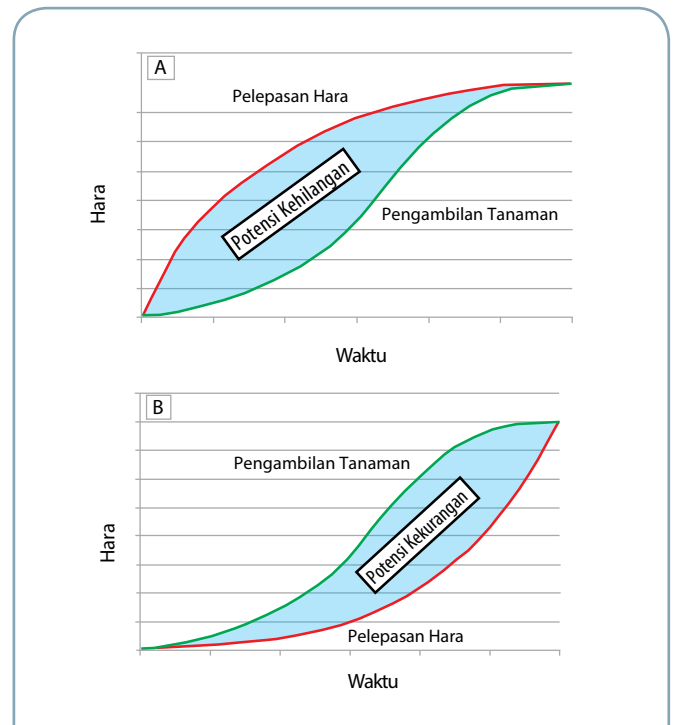
3.4 Bentuk Bahan Organik: Pupuk Kandang, Kompos

Bahan organik dapat menjadi sumber hara makro dan mikro yang sangat baik untuk hara tanaman. Mengingat bahan ini sangat bervariasi bergantung sumbernya, penanganan dan proses, maka hanya prinsip umum yang disampaikan di sini.

Banyak N dalam kotoran hewan dan kompos berupa senyawa organik yang harus dikonversi oleh mikroba tanah (mineralisasi) menjadi amonium atau nitrat sebelum dapat diserap oleh akar. Laju mineralisasi ditentukan oleh aktivitas mikroba, yang bervariasi bergantung faktor lingkungan (seperti suhu dan kelembaban), sifat bahan organik (seperti rasio C:N dan kandungan lignin) dan penempatan (pembenaman) bahan organik.

Kegagalan untuk menyelaraskan pelepasan N dengan penyerapan tanaman dapat mengarah pada kekurangan N dan defisiensi hara pada tanaman, atau mengarah pada kelebihan pelepasan N di luar musim tanam (**Gambar 3.5**). Rasio N terhadap P pada kebanyakan kotoran hewan bukan merupakan perbandingan yang tepat untuk kebutuhan tanaman. Ketika kotoran hewan ditambahkan untuk memenuhi kebutuhan N tanaman, P mungkin bisa terlalu banyak 3-5 kali dari kebutuhan tanaman. Aplikasi pupuk kandang jangka panjang dapat menyebabkan akumulasi P kecuali ada perhatian pada ketidakseimbangan ini.

Kotoran Hewan sangat bervariasi dalam hal komposisi kimia dan fisiknya karena pakan dan praktek pengelolaan kotoran. Nitrogen dalam kotoran hewan berupa senyawa anorganik dan organik. Nitrogen dalam kotoran hewan dapat tidak stabil karena amonia yang mudah menguap. Aplikasi



Gambar 3.5 Penyelarasan pelepasan hara dengan kebutuhan tanaman merupakan tantangan dengan material organik. Pelepasan yang cepat dari sumber organik dengan rasio C:N rendah dapat menyediakan hara lebih cepat dari kebutuhan tanaman (A). Material organik dengan rasio C:N tinggi tidak melepas hara cukup cepat untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhan tanaman (B).

kotoran hewan segar atau *masih basah* pada permukaan tanah dapat menyebabkan kehilangan N yang besar melalui penguapan pada beberapa situasi. Waktu aplikasi dan penempatan merupakan pertimbangan penting untuk meminimalkan kehilangan tersebut. Estimasi dosis aplikasi pupuk kandang yang benar dimulai dengan analisis kimia kandungan hara yang akurat dan perkiraan laju mineralisasi N setelah aplikasi. Sebagian besar P dalam kotoran hewan dan kompos berbentuk anorganik fosfat dan semua K berupa anorganik K^+ , yang segera tersedia untuk penyerapan tanaman.

Kompos umumnya mengandung konsentrasi hara yang rendah. Bahan yang dikomposkan dengan benar umumnya terdekomposisi perlahan dan berfungsi sebagai sumber N lambat tersedia selama beberapa bulan atau tahun. Kompos dapat sangat bervariasi dalam kualitas, kematangan, dan kandungan hara bergantung pada bahan, termasuk kondisi pada proses dan penanganannya.

3.5 Interaksi Antar Hara

Interaksi terjadi jika bentuk kimia atau konsentrasi dari hara tertentu mempengaruhi perilaku hara lainnya. Interaksi tersebut tidak selalu diketahui atau didokumentasikan dengan baik, tetapi hal tersebut diketahui terjadi pada

pupuk, tanah, zona perakaran, dan dalam tanaman. Interaksi yang diinginkan (sinergis) telah diamati pada beberapa tanaman. Interaksi yang tidak diinginkan (antagonis) dapat dihindari dengan pengamatan status hara dengan analisis tanaman dan tanah untuk mencegah kondisi ekstrem.

Beberapa contoh interaksi hara antara lain: (i) keberadaan NH_4^+ dapat meningkatkan ketersediaan P dalam tanaman, sehingga meningkatkan pertumbuhan tanaman, (ii) pemupukan K berlebihan mengarah pada penekanan penyerapan Mg pada beberapa tanaman pakan ternak, yang menyebabkan masalah nutrisi pada sapi yang makan rumput (*grass tetany* atau penyakit tetani) atau demam susu (*milk fever*) yang lebih tinggi dan plasenta tertahan jika untuk pakan pada sapi perah (*dry dairy cows*), (iii) konsentrasi P yang tinggi dapat mempengaruhi asimilasi Zn di dalam tanaman, (iv) peningkatan pH tanah setelah penambahan kapur dapat meningkatkan ketersediaan P dan Mo, tetapi mengurangi kelarutan Cu, Fe Mn, dan Zn.

Tidak ada satupun sumber hara yang tepat untuk semua kondisi. Kebutuhan hara tertentu seharusnya dimapankan di muka aplikasi bila memungkinkan. Faktor-faktor seperti ketersediaan pupuk, reaksi hara dalam tanah, peralatan penaburan, dan penghasilan ekonomis, semuanya harus dipertimbangkan. Keputusan yang kompleks ini seharusnya dievaluasi kembali secara terus-menerus agar pemilihan pupuk tepat. 📌

PUSTAKA

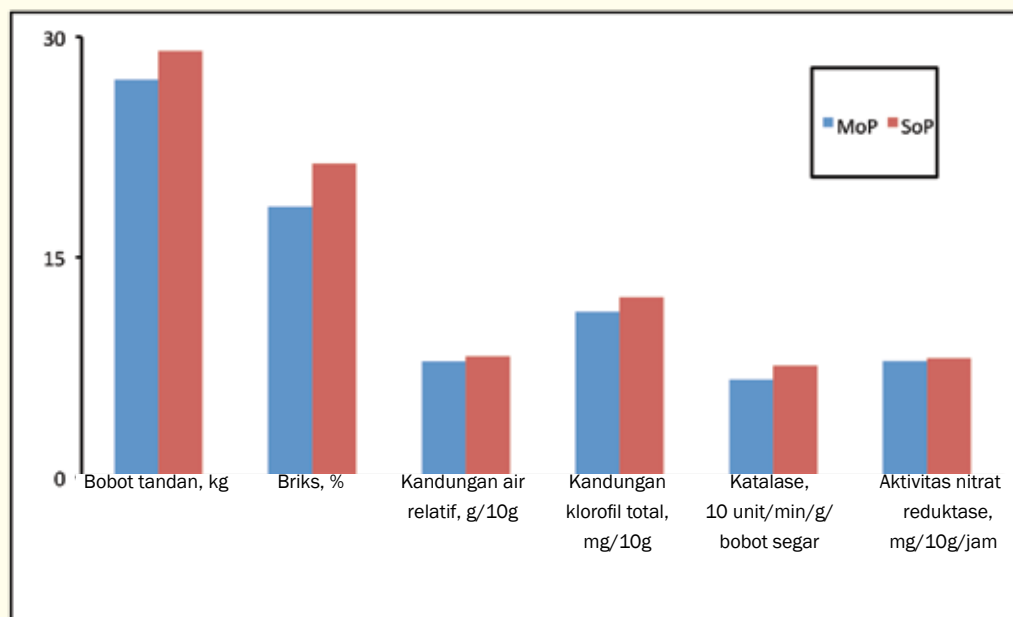
- Havlin, J.L. et al. 2005. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th edition. Pearson Prentice Hall. NJ, USA.
- UNIDO-IFDC. 1998. Fertilizer Manual. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

CATATAN



Modul 3.1-1 Sumber K yang tepat meningkatkan produksi dan kualitas pisang di India. Kalium merupakan hara penting dalam produksi pisang, baik untuk produksi dan kualitas. Kalium sulfat (K_2SO_4 atau SoP) mempunyai indeks garam yang rendah dan menyediakan hara S, dibandingkan dengan kalium klorida (KCl atau MoP) yang menyediakan klorida (Cl^-) bagi tanaman selain K. Sebuah studi mengenai pisang di India selatan negara bagian Tamil Nadu menunjukkan manfaat aplikasi SoP dibandingkan dengan MoP, seperti disajikan dalam **Gambar 1** di bawah.

Diadaptasi dari: Kumar, A.R. and N. Kumar. 2008. EurAsia J BioSci 2(12):102-109.

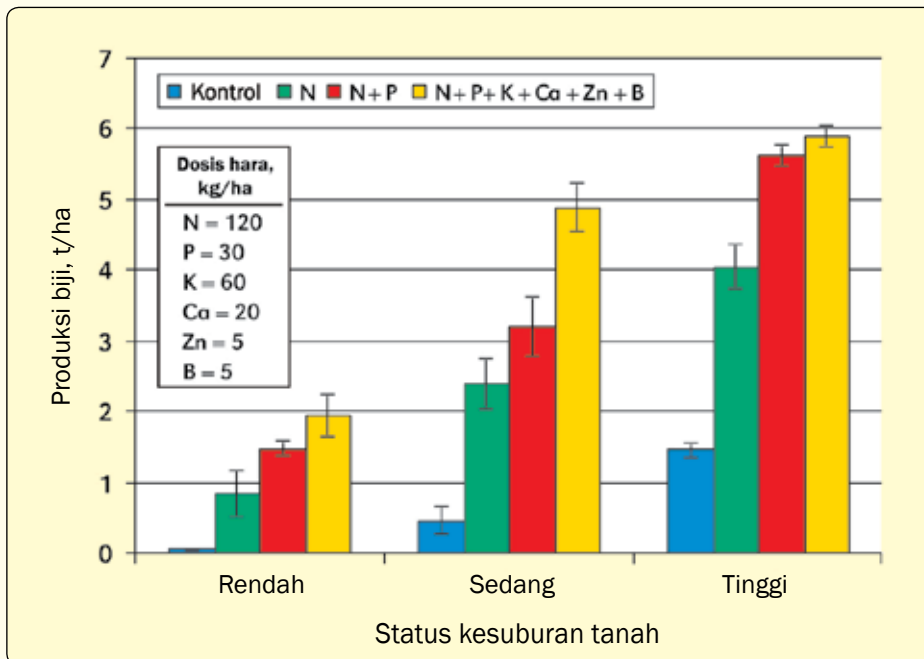


Gambar 1. Bobot tandan pisang, Brix (gula larut total), kandungan air relatif, dan parameter fotosintesis (kandungan klorofil, katalase, dan aktivitas nitrat reduktase) karena pengaruh MoP dan SoP sebagai sumber kalium

Disampaikan oleh H.S. Khurana, IPNI, India, December 2011.

Modul 3.2-1 Penyeimbangan hara organik dan mineral untuk jagung di Afrika. Studi di Sub-Sahara (SSA) menunjukkan bahwa penggunaan pupuk secara konsisten lebih menguntungkan dan efisien pada kebun yang subur. Jika tanah terdegradasi, restorasi kesuburan tanah melalui keseimbangan pemupukan dan penambahan bahan organik diperlukan untuk mencapai produktivitas tanaman yang tinggi. Pilihan lain untuk mengatur kesuburan tanah, seperti kotoran hewan, rotasi tanaman, dan alur yang diperbaharui merupakan hal efektif ketika dikombinasikan secara strategis dengan pupuk. Pada percobaan yang dilakukan di kebun-kebun di seluruh penjuru SSA yang bervariasi kesuburan tanahnya, aplikasi N sendiri memberikan produksi jagung tertinggi pada kondisi kesuburan tanah yang tinggi dan sedang. Penambahan P juga mengarah pada peningkatan produksi yang signifikan pada kebun dengan kesuburan tinggi, tetapi pada kebun dengan kesuburan sedang, penambahan kation basa (K dan Ca) dan hara mikro (Zn dan B) dibutuhkan untuk meningkatkan produksi secara signifikan di atas perlakuan N. Pada kebun dengan kesuburan rendah, produksi meningkat kurang dari 1 t/ha dengan aplikasi N dan kurang dari 2 t/ha dengan aplikasi N, P, K, Ca, Zn dan B. Pada kondisi tersebut, penambahan sumber bahan organik untuk meningkatkan bahan organik tanah diperlukan untuk meningkatkan retensi (penahanan) hara dan hara tanah, penyalarsan ketersediaan hara lebih baik, dan meningkatkan kesehatan tanah melalui peningkatan keanekaragaman hayati tanah.

Sumber: Zingore, S. 2011, Better Crops with Plant Food 95(1): 4-6.



Disampaikan oleh S. Zingore, IPNI, Kenya, December 2011.

Urea

Modul 3.3-1 Urea adalah pupuk nitrogen padat yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Urea juga biasanya ditemukan di alam karena dikeluarkan dalam urin hewan. Urea dengan kandungan N tinggi membuatnya efisien dalam pengangkutan ke kebun dan aplikasinya.

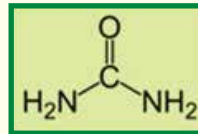
Produksi. Produksi pupuk urea terkait dengan reaksi terkendali gas amonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2) dengan peningkatan suhu dan tekanan. Urea yang meleleh dibentuk menjadi bulatan (spheres) dengan peralatan granulasi khusus atau pengerasan menjadi prill padat saat jatuh dari tower.

Pada saat produksi urea, dua molekul urea dapat secara tidak sengaja bersatu menjadi senyawa disebut biuret, yang dapat merusak saat disemprotkan pada daun tanaman. Kebanyakan pupuk urea komersial mengandung biuret dalam jumlah sedikit karena pengontrolan yang cermat selama pembuatan. Namun demikian, urea dengan biuret rendah tersedia untuk aplikasi khusus.

Pabrik urea berada di seluruh penjuru dunia, tetapi kebanyakan umumnya berada dekat dengan fasilitas pembuatan NH_3 , karena NH_3 merupakan input utama untuk urea. Urea ditransportasikan ke seluruh penjuru dunia melalui kapal laut, tongkang, kereta rel, dan truk.

Sifat Kimia

Formula kimia:	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
Kandungan N:	46% N
Kelarutan dalam air (20°C):	1.080 g/L



Penggunaan Pertanian. Urea digunakan dengan berbagai cara untuk menyediakan hara N bagi pertumbuhan tanaman. Kebanyakan umumnya dicampur dengan tanah atau diaplikasikan di permukaan tanah. Karena kelarutannya yang tinggi, urea dapat larut dalam air dan diaplikasikan pada tanah dalam bentuk cair/larutan, ditambahkan pada air irigasi, atau disemprotkan pada daun tanaman. Urea disemprotkan pada daun dapat secara cepat diserap daun tanaman.

Setelah urea menyentuh tanah atau tanaman, enzim (urease) yang secara alami terdapat di alam mulai secara cepat merubah urea kembali menjadi NH_3 dalam proses yang disebut hidrolisis. Dalam proses ini, N dalam urea peka terhadap kehilangan dalam bentuk gas NH_3 . Beragam teknik manajemen dapat digunakan untuk meminimalkan kehilangan hara yang bernilai ini.

Hidrolisis urea merupakan proses yang cepat, umumnya terjadi dalam beberapa hari setelah aplikasi. Tanaman dapat langsung menggunakan sejumlah kecil urea sebagai sumber N, tetapi umumnya dalam bentuk amonium (NH_4^+) and nitrat (NO_3^-) yang diproduksi setelah urea dikonversi oleh urease dan mikro organisme tanah.



Praktek Manajemen. Urea adalah sumber N yang unggul untuk memenuhi kebutuhan N tanaman. Karena segera larut dalam air, aplikasi permukaan urea hanyut terbawa air atau irigasi ke dalam tanah. Di dalam tanah, urea bergerak bebas dengan air tanah sampai terhidrolisis membentuk NH_4^+ . Penggunaan yang cermat untuk meminimalkan kehilangan N ke udara, air permukaan, dan air tanah. Kehilangan amonia akibat penguapan dapat dikendalikan dengan perhatian seksama terhadap waktu dan tempat aplikasi. Hindari aplikasi urea ketika pupuk akan tertinggal di atas tanah dalam waktu lama. Kehilangan N yang tidak dikehendaki dapat menyebabkan kehilangan produksi dan kualitas tanaman.

Urea adalah pupuk dengan kandungan N tinggi yang memiliki sifat simpan yang baik dan yang mengakibatkan korosi minimum pada peralatan aplikasi. Jika dikelola dengan baik, urea merupakan sumber N yang sangat baik bagi tanaman.

Penggunaan Non-pertanian. Urea umum digunakan di berbagai industri. Urea digunakan pada pembangkit energi (power plants) dan sistem pembuangan diesel untuk mengurangi emisi gas nitrous oksida (NO_x). Urea dapat digunakan sebagai suplemen protein dalam pakan hewan ruminansia, seperti sapi. Banyak industri kimia umum dibuat menggunakan urea sebagai komponen penting.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Urea-Amonium Nitrat

Modul 3.3-2 Larutan pupuk cair atau pupuk cairan populer di banyak wilayah karena pupuk tersebut aman untuk ditangani, mudah untuk dicampur dengan hara atau bahan kimia lainnya, dan mudah diaplikasikan.

Larutan urea [NH_4NO_3] mengandung 28 sampai 32% N adalah pupuk cair yang paling populer.

Produksi. Pupuk urea-amonium cair (UAN) relatif simpel untuk diproduksi. Larutan yang berisi urea terlarut dipanaskan dicampur dengan larutan amonium nitrat yang dipanaskan untuk membuat pupuk cair jernih. Separuh dari total N berasal dari larutan urea dan separuhnya berasal dari larutan amonium nitrat. UAN dibuat dalam beberapa tumpukan dalam beberapa fasilitas atau dalam proses yang terus-menerus (*continual*). Tidak ada emisi atau produk terbuang selama pencampuran.

Mengingat UAN adalah larutan N terkonsentrasi, kelarutannya meningkat sejalan dengan peningkatan suhu. Untuk mencegah komponen N mengendap sebagai kristal, larutan UAN dibuat lebih cair di wilayah dengan suhu musim dingin. Dengan demikian, konsentrasi N pada pupuk UAN komersial bervariasi dari 28% sampai 32% N tergantung pada geografi. Penghambat korosi biasanya ditambahkan pada larutan akhir untuk menjaga besi dalam tangki penyimpanan.

Sifat Kimia

	28% N	30% N	32% N
Komposisi (% berat)			
Amonium Nitrat:	40	42	44
Urea:	30	33	35
Air:	30	25	20
Suhu garam (°C):	-18	-10	-2
pH larutan:	----	Sekitar 7	----



Penggunaan Pertanian. Larutan UAN digunakan luas sebagai sumber N untuk hara tanaman. Porsi NO_3^- (25% total N) segera tersedia bagi penyerapan tanaman. Bagian NH_4^+ (25% total N) dapat diasimilasi juga oleh kebanyakan tanaman, tetapi dioksidasi dengan cepat oleh tanah membentuk NO_3^- . Sisa bagian urea (50% total N) dihidrolisa enzim tanah membentuk NH_4^+ , yang kemudian dikonversi menjadi NO_3^- pada kondisi tanah pada umumnya.

Larutan UAN sangat serba guna sebagai sumber hara tanaman. Karena sifat kimianya, UAN kompatibel dengan berbagai hara lain dan bahan kimia pertanian, dan sering dicampur dengan larutan berisi P, K, dan hara tanaman lainnya. Pupuk cair dapat dicampur untuk memenuhi kebutuhan khusus tanah atau tanaman yang akurat.

Larutan UAN biasanya diinjeksi ke dalam tanah, disemprotkan pada permukaan tanah, pemupukan alir (*dribble*) sebagai aplikasi lajur pada permukaan, ditambahkan pada air irigasi, atau disemprotkan pada daun tanaman sebagai sumber hara daun. Namun demikian, UAN dapat merusak dedaunan jika disemprotkan langsung pada beberapa tanaman, sehingga diperlukan pengenceran dengan air.

Praktek Manajemen. UAN membuat sumber hara N yang sangat bagus bagi tanaman. Namun, mengingat separuh dari total N adalah berbentuk urea, pengelolaan ekstra terhadap waktu dan penempatan mungkin diperlukan untuk menghindari kehilangan akibat penguapan. Ketika UAN berada di permukaan tanah untuk waktu lebih panjang (beberapa hari), enzim tanah akan mengkonversi urea menjadi NH_4^+ , sebagian dari padanya dapat hilang sebagai gas amonia.

Oleh karena itu, UAN seharusnya tidak berada di atas permukaan lebih dari beberapa hari untuk menghindari kehilangan yang nyata. Penghambat yang memperlambat transformasi N kadang-kadang ditambahkan. Ketika UAN pertama diaplikasikan ke tanah, urea dan molekul NO_3^- akan bergerak bebas bersama air dalam tanah. NH_4^+ akan tertahan dalam tanah di tempat kontak pertama dengan tempat pertukaran kation pada liat atau bahan organik. Dalam 2-10 hari, sebagian besar urea akan dikonversi menjadi NH_4^+ dan tidak lagi bergerak. NH_4^+ yang semula diberikan dan tambahan NH_4^+ berasal dari urea yang akhirnya akan dikonversi menjadi NO_3^- oleh mikroorganisme tanah.

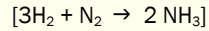
Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

M

Amonia

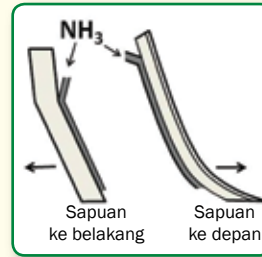
Modul 3.3-3 Amonia adalah dasar dari industri pupuk nitrogen. Amonia dapat langsung diaplikasikan ke tanah sebagai hara tanaman atau dikonversi menjadi berbagai pupuk N yang umum. Keamanan khusus dan manajemen tindakan pencegahan diperlukan.

Produksi. Hampir 80% dari atmosfer bumi terdiri dari gas N_2 , tetapi dalam bentuk kimia dan biologis yang tidak dapat digunakan. Pada awal 1900-an, proses penggabungan N_2 dan hidrogen (H_2) pada kondisi suhu dan tekanan tinggi sedang dikembangkan. Ini adalah reaksi yang dikenal sebagai proses Haber-Bosch:



Sifat Kimia

Anhydrous Amonia (NH_3)	
Kandungan N:	82% N
Titik didih:	-33°C
Amonium cair (NH_4OH)	
Kandungan N:	20 sampai 24% N
pH:	11 sampai 12



Berbagai bahan bakar fosil dapat digunakan sebagai sumber H_2 , tetapi gas alam (metana) yang paling umum. Oleh karena itu, kebanyakan produksi NH_3 terdapat pada lokasi yang sudah tersedia gas alam.

Amonia adalah gas di atmosfer, tetapi diangkut dalam bentuk cair dengan tekanan atau pendinginan di bawah titik didihnya (-33°C). Amonia dikirim secara global dengan kapal laut berpendingin, kereta rel bertekanan, dan jalur pipa jarak-jauh.



Penggunaan Pertanian. Amonia memiliki kandungan N tertinggi dari semua pupuk komersial, menjadikannya sumber N populer meskipun mempunyai potensi bahaya dan untuk penggunaannya diperlukan praktek pengamanan. Ketika NH_3 diaplikasikan langsung ke tanah, cairan bertekanan segera menjadi uap setelah keluar dari tangki. Amonia biasanya ditempatkan setidaknya 10-20 cm dibawah permukaan tanah, atau cara sedemikian rupa untuk mencegah kehilangan sebagai uap kembali ke atmosfer. Beragam tipe pisau traktor (*tractor-drawn*) dan shank digunakan untuk menempatkan NH_3 pada lokasi yang tepat.

Amonia dengan cepat bereaksi dengan air tanah untuk membentuk amonium (NH_4^+), yang akan tertahan pada tempat pertukaran kation tanah. Amonia kadang-kadang larut dalam air untuk menghasilkan ammonia cair, pupuk N cair yang populer. Amonia cair tidak perlu diinjeksi sedalam NH_3 , dimana menyediakan keuntungan saat aplikasi di lapangan dan membutuhkan lebih sedikit perhatian keselamatan. Amonia cair sering ditambahkan pada air irigasi dan digunakan pada kondisi tanah tergenang.

Praktek Manajemen. Penanganan NH_3 memerlukan perhatian yang cermat demi keselamatan. Fasilitas penyimpanan dan selama aplikasi lapangan, peralatan perlindungan personal yang tepat harus digunakan. Mengingat NH_3 sangat larut air, NH_3 bebas segera bereaksi dengan kelembaban tubuh, seperti paru-paru dan mata, menyebabkan kerusakan yang parah. NH_3 tidak untuk dikirim atau aplikasikan tanpa training keselamatan yang cukup.

Segera setelah aplikasi, konsentrasi NH_3 tinggi sekitar lokasi injeksi menyebabkan hambatan mikroba tanah sementara. Namun demikian, populasi mikroba pulih saat NH_3 berubah menjadi NH_4^+ , difusi dari titik aplikasi, dan kemudian berubah menjadi nitrat. Hal serupa, untuk menghindari kerusakan selama perkecambahan, biji sebaiknya tidak ditempatkan berdekatan dengan zona terakhir penempatan NH_3 . Pelepasan NH_3 secara tidak disengaja ke atmosfer seharusnya dapat dihindari sebanyak mungkin. Emisi NH_3 berkaitan dengan kabut di atmosfer dan perubahan kimiawi air hujan. Adanya konsentrasi NH_3 yang meningkat pada permukaan air dapat membahayakan organisme air.

Penggunaan Non-pertanian. Lebih dari 80% produksi NH_3 digunakan sebagai pupuk, baik untuk aplikasi langsung atau dikonversi menjadi berbagai pupuk padat atau cair. Namun demikian, ada beberapa penggunaan NH_3 dalam aplikasi industri. Pembersih rumah tangga dibuat dari larutan NH_3 5-10% dilarutkan dalam air (untuk membentuk amonium hidroksida). Karena sifatnya yang menguap, NH_3 secara luas digunakan sebagai pendingin.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Amonium Sulfat

Modul 3.3-4 Amonium sulfat adalah salah satu pupuk nitrogen pertama dan digunakan secara luas untuk produksi tanaman. Sekarang sudah kurang umum digunakan, tetapi bernilai saat kedua hara N dan S diperlukan. Kelarutannya yang tinggi menjadikannya serba guna untuk beberapa aplikasi pertanian.

Produksi. Amonium sulfat (sering disingkat AS atau AMS) telah diproduksi lebih dari 150 tahun. Awalnya dibuat dari amonia yang terlepas pada pembuatan gas batubara (digunakan untuk penerangan kota) atau dari *coal coke* digunakan untuk produksi baja. AS dibuat dari reaksi asam sulfat dan amonia dipanaskan. Ukuran hasil kristal ditentukan dengan pengaturan kondisi reaksi. Ketika ukuran yang dikehendaki tercapai, kristal dikeringkan dan disaring untuk ukuran partikel tertentu. Beberapa material dilapisi dengan kondisioner untuk mengurangi debu dan membatu.

Kebanyakan kebutuhan amonium sulfat sekarang dipenuhi dari hasil samping beragam produksi industri. Sebagai contoh, amonium sulfat merupakan produk-ikutan (*co-product*) pada proses pembuatan nilon. Produk sampingan tertentu yang mengandung amonia atau *spent* asam sulfat biasanya dikonversi menjadi amonium sulfat untuk digunakan pada bidang pertanian. Walaupun warnanya dapat berkisar dari putih sampai krem, AM dijual secara konsisten sebagai kristal dengan kelarutan tinggi yang mempunyai sifat penyimpanan yang sangat baik. Ukuran partikel dapat bervariasi bergantung pada keperluannya.

Sifat Kimia

Formula kimia:	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Kandungan N:	21%
Kandungan S:	24%
Kelarutan dalam air:	750 g/L
pH larutan:	5 sampai 6



Kristal $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$



Penggunaan Pertanian. Amonium sulfat digunakan terutama terdapat kebutuhan suplemen N dan S untuk memenuhi kebutuhan hara untuk pertumbuhan tanaman. Mengingat amonium sulfat mengandung hanya 21% N, ada sumber pupuk lain yang lebih terkonsentrasi dan ekonomis untuk ditangani dan dikirimkan. Namun demikian, amonium sulfat dapat sebagai sumber S yang sangat baik yang mempunyai sejumlah fungsi mendasar pada tanaman, termasuk sintesis protein.

Karena fraksi N berada dalam bentuk amonium, amonium sulfat sering digunakan pada tanah tergenang untuk produksi padi, dimana pupuk berbasis nitrat merupakan pilihan yang buruk karena kehilangan akibat denitrifikasi.

Larutan berisi amonium sulfat terlarut sering ditambahkan pada penyemprotan herbisida purna tumbuh untuk meningkatkan efektivitas pengendalian gulma. Praktek peningkatan efektivitas herbisida dengan amonium sulfat ini efektif khususnya ketika air yang digunakan mengandung konsentrasi kalsium, magnesium atau natrium yang signifikan. Amonium sulfat kemurnian tinggi sering digunakan untuk tujuan tersebut untuk menghindari penyumbatan nozzle semprot.

Praktek Manajemen. Setelah ditambahkan ke tanah, amonium sulfat segera larut menjadi komponen amonium dan sulfat. Jika masih berada pada permukaan tanah, amonium rentan hilang dalam bentuk gas pada kondisi agak basa (alkalin). Pada kondisi ini, dianjurkan bahan dibenam ke dalam tanah sesegera mungkin, atau aplikasi sebelum aktivitas irigasi atau perkiraan adanya hujan.

Kebanyakan tanaman dapat menggunakan N baik dalam bentuk amonium maupun nitrat untuk pertumbuhan. Pada tanah yang hangat, mikroba akan segera mulai mengubah amonium menjadi nitrat dalam proses nitrifikasi [$\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$]. Selama proses mikrobial ini berlangsung, keasaman [H^+] dilepaskan, yang akhirnya akan menurunkan pH tanah setelah proses berulang. Amonium sulfat mempunyai efek pengasaman pada tanah karena proses nitrifikasi, bukan dari keberadaan sulfat yang efeknya pada pH dapat diabaikan. Potensial amonium sulfat memproduksi asam lebih besar dari amonium nitrat untuk aplikasi N yang sama, sebagai contoh, mengingat semua N dalam amonium sulfat akan diubah menjadi nitrat, sedangkan hanya setengah N dari amonium nitrat akan diubah menjadi nitrat.

Penggunaan Non-pertanian. Amonium sulfat biasa ditambahkan pada produk roti sebagai kondisioner adonan. Amonium sulfat juga merupakan komponen serbuk pemadam kebakaran dan bahan anti api. Bahan tersebut juga digunakan pada berbagai penggunaan dalam industri kimia, pulp, tekstil, dan obat-obatan.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

M

Nitrofosfat

Modul 3.3-5 Produksi dan aplikasi pupuk nitrofosfat sebagian besar daerah, penggunaannya berpusat di mana teknologi ini menguntungkan. Prosesnya menggunakan asam nitrat bukan asam sulfat untuk perlakuan batu fosfat dan tidak menghasilkan produk sampingan gipsum.

Produksi. Komponen utama pupuk P komersial dibuat dengan mereaksikan batu fosfat dengan asam sulfat atau asam fosfat. Metode asam sulfat dalam memproduksi pupuk P menghasilkan jumlah besar kalsium sulfat (gipsum) sebagai produk-sampingan yang membutuhkan biaya tambahan untuk pembuangannya. Nitrofosfat berbeda karena mereaksikan batuan fosfat dengan asam nitrat. Asam nitrat dibuat dengan mengoksidasikan amonia dengan air pada suhu tinggi.

Kelebihan utama dari metode ini adalah membutuhkan input S yang kecil atau tanpa S. Dengan proses nitrofosfat, kelebihan Ca dari batuan fosfat diubah menjadi pupuk kalsium nitrat yang bernilai dan bukan gipsum. Metode nitrofosfat pertama dikembangkan di Norwegia dan sebagian besar produksi masih berada di Eropa.

Reaksi umum adalah: batu fosfat + asam nitrat → asam fosfat + kalsium nitrat + asam hidrofliorat. Asam fosfat yang dihasilkan sering bercampur dengan hara lain untuk membentuk pupuk majemuk yang mengandung beberapa hara dalam butiran tunggal.

Sifat Kimia

Komposisi kimia akan berbeda tergantung pada kombinasi dari unsur hara yang digunakan untuk membuat granula akhir. Kandungan populer dari pupuk dibuat dari metode nitrofosfat mengandung:

20-20-0, 25-25-0, 28-14-0, 20-30-0, 15-15-15, 17-17-17, 21-7-14, 10-20-20, 15-20-15 dan 12-24-12.



21-7-14 diformulasi dengan kalium sulfat

16-16-16 diformulasi dengan kalium klorida

Penggunaan Pertanian. Pupuk nitrofosfat dapat mempunyai kisaran komposisi hara yang lebar bergantung pada maksud penggunaannya. Hal penting untuk memilih komposisi yang tepat untuk masing-masing tanaman dan kebutuhan tanah. Pupuk nitrofosfat dijual dalam bentuk granul digunakan untuk aplikasi langsung ke tanah. Umumnya ditabur pada permukaan tanah, dicampur dalam zona perakaran, atau diaplikasikan pada lajur terkonsentrasi di bawah permukaan tanah sebelum tanam.

Praktek Manajemen. Pupuk nitrofosfat mengandung jumlah amonium nitrat bervariasi, yang menarik kelembaban. Untuk mencegah penggumpalan atau membatu, pupuk nitrofosfat umumnya dikemas dalam kantong kedap air dan dilindungi dari air sebelum dikirim ke petani.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifcs>

Amonium Nitrat

Modul 3.3-6 Amonium nitrat adalah pupuk nitrogen padat pertama yang diproduksi dalam skala besar, namun popularitasnya menurun pada tahun-tahun terakhir. Pupuk ini merupakan sumber N yang umum karena mengandung nitrat dan amonium dan merupakan pupuk dengan kandungan hara yang relatif tinggi.

Produksi. Produksi amonium nitrat skala besar mulai pada tahun 1940-an ketika digunakan sebagai pertahanan selama perang. Setelah Perang Dunia II selesai, amonium nitrat menjadi tersedia sebagai pupuk komersial. Produksi amonium nitrat relatif sederhana, gas amonia direaksikan dengan asam nitrat untuk membentuk larutan terkonsentrasi dan panas yang cukup.

Pupuk prill dibentuk dari tetesan larutan amonium terkonsentrasi (95 sampai 99%) yang jatuh dari tower dan memadat. Prill dengan berat jenis rendah lebih porous dibandingkan dengan prill dengan berat jenis tinggi dan lebih disukai untuk penggunaan industri, sedangkan prill dengan berat jenis tinggi digunakan sebagai pupuk. Amonium nitrat granul dibuat dari larutan terkonsentrasi yang disemprotkan berulang-ulang pada granul kecil dalam drum yang berputar.

Karena amonium nitrat bersifat higroskopis dan segera mengikat kelembaban dari udara, maka umumnya disimpan dalam gudang yang berpendingin (AC) atau dalam kantong tertutup. Pupuk yang padat biasanya dilapis dengan senyawa anti gumpal untuk mencegah menjadi lengket atau menggumpal.

Amonium nitrat dapat dilebur dengan pupuk amonium sulfat atau ditambahkan bersama mineral karbonat untuk mengurangi sifat ledak (eksplosif). Mineral karbonat ini menurunkan konsentrasi N dan kurang larut, menjadikan produk yang dimodifikasi tersebut kurang sesuai untuk aplikasi melalui sistem irigasi (fertigasi).

Sifat Kimia

Formula kimia:	NH_4NO_3
Kandungan N:	33 sampai 34%
Kelarutan dalam air (20°C):	1.900 g/L



HERINGER
Amonium nitrat granul mengandung nitrat-N dan amonium-N dalam jumlah yang sama, dan aplikasinya sangat memuaskan untuk sayuran atau tanaman pakan ternak

Penggunaan Pertanian. Amonium nitrat merupakan pupuk yang populer karena menyediakan separuh N dalam bentuk nitrat dan separuh dalam bentuk amonium. Bentuk nitrat bergerak cepat dengan air tanah ke akar yang segera tersedia bagi penyerapan akar. Fraksi amonium diserap akar atau secara bertahap diubah menjadi nitrat oleh mikro organisme tanah. Banyak petani sayuran lebih menyukai sumber nitrat yang segera tersedia untuk tanaman dan menggunakan amonium nitrat. Pupuk ini populer untuk ladang rumput dan pemupukan jerami, mengingat pupuk ini kurang peka terhadap kehilangan akibat penguapan dibandingkan dengan pupuk berbasis urea jika pupuk ditabur pada permukaan tanah. Amonium nitrat biasanya dicampur dengan pupuk lain, tetapi campuran tersebut tidak dapat disimpan untuk waktu yang lama karena ada kecenderungan untuk menyerap kelembaban dari udara. Kelarutan amonium nitrat yang sangat tinggi menjadikan pupuk ini sesuai untuk membuat larutan untuk fertigasi atau pupuk daun.

Praktek Manajemen. Amonium nitrat populer sebagai pupuk N karena kemudahan penangannya dan kandungan hara tinggi. Pupuk ini sangat larut dalam tanah dan porsi nitrat dapat bergerak ke luar zona perakaran pada kondisi basah. Nitrat juga dapat dikonversi menjadi gas nitrous oksida pada kondisi sangat basah melalui proses denitrifikasi. Porsi amonium tidak mengalami kehilangan besar sampai teroksidari menjadi nitrat. Perhatian terhadap penggunaan ilegal pupuk untuk bahan peledak menyebabkan pengaturan pemerintah yang ketat di banyak bagian dunia. Pembatasan penjualan dan transportasi menyebabkan beberapa penyalur pupuk menghentikan penanganan pupuk ini.

Penggunaan Non-pertanian. Amonium nitrat prill dengan berat jenis rendah digunakan secara luas sebagai bahan peledak pada industri pertambangan, pada penggalian (*quarries*), dan pada lokasi konstruksi. Bahan ini sangat berpori untuk memungkinkan adsorpsi cepat bahan bakar minyak (disebut ANFO).

Kemasan dingin instan dibuat dengan dua kantong – satu kantong berisi amonium nitrat kering dan kantong kedua berisi air. Ketika batas pemisah (*barrier*) kemasan dirusak, amonium nitrat segera terlarut dalam reaksi endotermik, yang menurunkan suhu kemasan menjadi 2 sampai 3°C dalam waktu yang sangat singkat.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifcs>

M

Monoamonium Fosfat

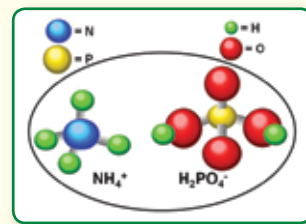
Modul 3.3-7 Monoamonium Fosfat (MAP) digunakan secara luas sebagai sumber fosfat dan nitrogen.

Tahun-tahun belakangan ini pertumbuhan penggunaannya semakin cepat. Pupuk ini dibuat dari dua komponen yang umum dalam industri pupuk dan memiliki kandungan hara P paling tinggi di antara pupuk padat apapun.

Produksi. Proses pembuatan MAP relatif sederhana. Pada metode yang umum, rasio satu banding satu amonia (NH_3) dan asam fosfat (H_3PO_4) direaksikan dan akan membentuk cairan kental (*slurry*) MAP yang dipadatkan dalam granulator. Metode kedua adalah menggabungkan dua material awal dalam *pipe-cross reactor* dimana reaksi menghasilkan panas untuk menguapkan air dan memadatkan MAP. Variasi dari metode-metode tersebut juga digunakan dalam produksi MAP. Keunggulan memproduksi MAP adalah bahwa kualitas H_3PO_4 lebih rendah dapat dipakai dibandingkan dengan pupuk P lain yang sering membutuhkan asam dengan mutu lebih murni. Kandungan P_2O_5 ekuivalen dalam MAP bervariasi berkisar antara 48 sampai 61%, bergantung pada kemurnian asamnya. Komposisi pupuk ini yang paling umum adalah 11-51-0.

Sifat Kimia

Formula kimia:	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$
Kandungan N:	10 sampai 12%
Kandungan P_2O_5 :	48 sampai 61%
Kelarutan dalam air (20°C):	370 g/L
pH larutan:	4 sampai 4,5



Penggunaan Pertanian. MAP sudah menjadi pupuk granular penting selama bertahun-tahun. Pupuk ini larut dalam air dan melarut cepat dalam tanah jika ketersediaan kelembaban cukup. Dalam pelarutan, dua komponen dasar pupuk terpisah melepaskan NH_4^+ dan H_2PO_4^- . Kedua hara ini penting untuk menjaga pertumbuhan tanaman yang sehat. pH larutan sekitar granul agak asam, yang menjadikan MAP merupakan pupuk yang dibutuhkan khususnya pada pH tanah netral dan tinggi. Studi agronomis menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan P yang nyata dari berbagai pupuk P komersial pada kondisi umumnya.



MAP granul diaplikasikan pada lajur terkonsentrasi di bawah permukaan tanah dekat dengan pertumbuhan akar atau pada permukaan lajur. Pupuk ini umumnya diaplikasikan dengan cara ditabur pada seluruh bagian kebun dan dicampur pada permukaan tanah melalui pengolahan. Dalam bentuk serbuk, pupuk ini menjadi komponen pupuk suspensi. Jika MAP dibuat dengan H_3PO_4 murni, pupuk ini akan segera larut menjadi larutan jernih yang dapat digunakan sebagai pupuk daun atau ditambahkan dalam air irigasi. Kandungan P_2O_5 ekuivalen dalam MAP kemurnian tinggi biasanya 61%.

Praktek Manajemen. Tidak ada peringatan khusus berkaitan penggunaan MAP. Keasaman sedikit pupuk ini menurunkan potensial kehilangan NH_3 ke udara. MAP dapat ditempatkan dekat dengan biji yang berkecambah tanpa khawatir adanya kerusakan akibat NH_3 . Penempatan lajur MAP melindungi P terhadap fiksasi tanah dan membantu sinergi penyerapan perakaran antara amonium dengan fosfat.

Ketika MAP digunakan dalam penyemprotan daun atau ditambahkan pada air irigasi, pupuk ini harus dicampur dengan pupuk kalsium atau magnesium. MAP mempunyai karakteristik simpan dan penanganan yang baik. Sebagian dari ketidakmurnian bahan kimia (seperti besi dan aluminium) secara alami berperan sebagai kondisioner yang mencegah penggumpalan. MAP kemurnian tinggi dapat ditambahkan kondisioner atau membutuhkan penanganan khusus untuk mencegah penggumpalan. Seperti untuk semua pupuk P, praktek manajemen yang benar harus diterapkan untuk meminimalkan kehilangan hara ke air permukaan atau drainase.

Sumber MAP dengan kemurnian tinggi digunakan sebagai campuran pakan untuk hewan. NH_4^+ disintesis menjadi protein dan H_2PO_4^- digunakan dalam berbagai fungsi metabolisme hewan.

Penggunaan Non-pertanian. MAP digunakan pada bahan kimia kering pemadam api yang umumnya dijumpai di perkantoran, sekolah, dan rumah tangga. Pemadam menyemprotkan tepung MAP terdispersi halus yang menyelimuti bahan bakar dan segera menutupi api.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

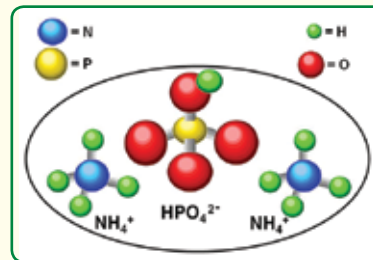
Diamonium Fosfat

Modul 3.3-8 Diamonium Fosfat (DAP) merupakan pupuk fosfat yang paling luas penggunaannya di seluruh dunia. Terbuat dari dua komponen umum dalam industri pupuk dan populer karena kandungannya yang tinggi dan mempunyai sifat fisik yang sangat baik.

Produksi. Pupuk amonium fosfat pertama tersedia pada tahun 1960-an dan DAP cepat menjadi yang paling populer pada katagori produk ini. Pupuk diformulasikan pada reaksi terkendali asam fosfat dengan amonia, larutan kental (*slurry*) kemudian didinginkan, digranulasi, dan disaring. DAP mempunyai sifat penanganan dan penyimpanan yang sangat baik. Mutu standar DAP adalah 18-46-0 dan produk pupuk dengan kandungan yang lebih rendah tidak dapat diberi label DAP. Untuk memproduksi pupuk DAP satu ton inputnya yang dibutuhkan kira-kira 1,5 sampai 2 t batu fosfat, 0,4 t S, untuk melarutkan batu, dan 0,2 t amonia. Perubahan pasokan atau harga dari bahan-bahan tersebut akan mempengaruhi harga DAP dan ketersediaannya. Kandungan hara DAP yang tinggi membantu menurunkan biaya penanganan, pengangkutan dan aplikasi. DAP diproduksi di banyak lokasi di dunia dan merupakan komoditas yang diperdagangkan secara luas.

Sifat Kimia

Formula kimia:	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
Kandungan N:	18%
Kandungan P_2O_5 :	46%
Kelarutan dalam air (20°C):	588 g/L
pH larutan:	7,5 sampai 8



Penggunaan Pertanian. Pupuk DAP merupakan sumber P dan N yang sangat baik. Pupuk ini sangat mudah larut dan melarut dengan cepat dalam tanah untuk melepaskan fosfat dan amonium. Sifat DAP yang menonjol adalah pH alkalin yang berkembang di sekitar granul yang melarut.



Dengan dilepaskannya amonium dari pelarutan granul DAP, gas amonia dapat berbahaya bagi biji dan akar tanaman pada tempat yang dekat. Potensi kerusakan lebih umum terjadi jika pH tanah lebih besar dari 7, kondisi yang umum terjadi di sekitar granul DAP yang melarut. Untuk mencegah kemungkinan kerusakan biji, harus menghindari penempatan DAP konsentrasi tinggi dekat dengan biji yang berkecambah.

Keberadaan amonium dalam DAP merupakan sumber N yang sangat baik dan secara bertahap dikonversi menjadi nitrat oleh bakteri tanah, menyebabkan adanya penurunan pH. Dengan demikian, kenaikan pH tanah di sekitar granul DAP merupakan efek sementara. Peningkatan awal pH tanah di sekitar DAP dapat mempengaruhi reaksi mikro (*micro-site reaction*) fosfat dan bahan organik tanah.

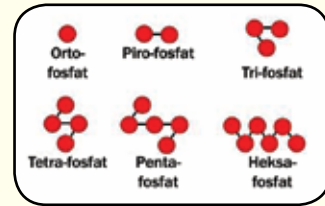
Praktek Manajemen. Terdapat perbedaan pada reaksi kimia awal dalam tanah antara beberapa pupuk komersial P, namun hal ini akan menjadi kecil dengan berjalannya waktu (dalam minggu atau bulan) dan minimum sepanjang perhatian pada hara tanaman. Kebanyakan perbandingan di kebun antara DAP dan MAP menunjukkan hanya perbedaan kecil atau tidak ada beda pada pertumbuhan tanaman dan produksi akibat sumber P pada manajemen yang tepat.

Penggunaan Non-pertanian. DAP digunakan pada banyak keperluan sebagai penghambat api (*fire retardant*). Sebagai contoh, campuran DAP dan bahan lainnya dapat ditebar dahulu pada kebakaran untuk menghindari hutan dari terbakar. Hal tersebut kemudian menjadikannya sumber hara setelah kebakaran berakhir. DAP digunakan pada berbagai proses industri, seperti proses akhir logam. Bahan ini biasanya ditambahkan pada anggur untuk menjaga fermentasi yeast dan pada keju untuk mendukung proses perkembangan keju.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Polifosfat

Modul 3.3-9 Kekurangan fosfor membatasi pertumbuhan dan produksi tanaman di sebagian penjuru dunia. Mengingat banyak tanah dengan P rendah, hara ini umumnya ditambahkan untuk meningkatkan produksi dan kualitas tanaman. Fosfor diperoleh dari bahan tambang di seluruh dunia. Polifosfat merupakan pupuk cair yang sangat baik yang digunakan secara luas pada pertanian.



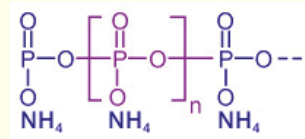
Produksi. Asam fosfat merupakan material awal untuk kebanyakan pupuk fosfat komersial. Namun demikian, keasaman dan sifat kimia beberapa bahan membuat material-material tersebut sulit digunakan secara langsung. Ketika asam fosfat dan amonia direaksikan, air terdorong keluar dan molekul fosfat individu mulai bergabung bersama membentuk pupuk cair polifosfat.

Molekul single fosfat disebut ortofosfat. "Poli" berarti molekul-molekul fosfat berkait membentuk rantai. Setiap kaitan molekul (rantai) fosfat mempunyai nama tergantung pada panjangnya, walaupun polifosfat merupakan nama umum yang mencakup semua rantai tersebut.

Pupuk amonium polifosfat yang paling umum mempunyai komposisi $N-P_2O_5-K_2O$ 10-34-0 atau 11-37-0. Pupuk polifosfat mempunyai keunggulan berupa cairan jernih dengan konsentrasi tinggi bebas kristal yang stabil pada kondisi kisaran suhu yang lebar dan mempunyai daya simpan yang panjang. Berbagai hara lain dapat dicampur baik dengan pupuk polifosfat, yang membuatnya sebagai pembawa (carrier) hara mikro yang sangat baik yang diperlukan tanaman.

Sifat Kimia

Nama	Mutu Pupuk	
	10-34-0	11-37-0
Densitas, kg/L	1,39	1,43
pH	5,9	6,1



Penggunaan Pertanian. Dalam pupuk polifosfat, antara setengah dan tiga-perempat bagian dari P berupa rantai polimer. P lainnya (orthofosfat) segera tersedia untuk penyerapan tanaman. Rantai polimer fosfat akan pecah terutama menjadi molekul fosfat sederhana oleh enzim yang diproduksi oleh mikro organisme tanah dan akar tanaman. Sebagian polifosfat akan terdekomposisi tanpa enzim. Aktivitas enzim lebih cepat pada tanah yang hangat dan lembab. Umumnya, setengah dari senyawa polifosfat dikonversi menjadi orthofosfat dalam satu atau dua minggu. Pada kondisi dingin dan kering, konversi tersebut menjadi lebih lama. Mengingat pupuk polifosfat mengandung kombinasi ortofosfat dan polifosfat, tanaman dapat menggunakan sumber ini dengan efisien. Kebanyakan cairan pupuk berisi P mengandung polifosfat di dalamnya. Pupuk cair umumnya dipakai pada produksi pertanian, tetapi tidak digunakan luas oleh rumah tangga. Pupuk cair nyaman bagi petani karena kemudahannya untuk dicampur dengan banyak hara dan bahan kimia lainnya dan setiap tetes cairan tersebut seragam. Untuk kebanyakan situasi, keputusan penggunaan pupuk kering atau cair lebih didasarkan pada harga hara, syarat penanganan pupuk, dan praktek lapangan daripada perbedaan agronomis yang signifikan.

Praktek Manajemen. Amonium polifosfat digunakan terutama sebagai sumber hara P untuk tanaman. Karena P mempunyai mobilitas yang terbatas pada kebanyakan tanah, maka upaya seharusnya dilakukan untuk menempatkan pupuknya sedekat dan sepraktis mungkin untuk perkembangan akar. Praktek semestinya diadopsi untuk meminimalkan pergerakan P dari tanah ke dalam air terdekat. Kelebihan P dalam air permukaan dapat menstimulasi pertumbuhan ganggang yang tidak diinginkan.

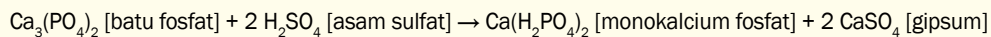
Penggunaan Non-pertanian. Fosfat merupakan komponen dasar dalam nutrisi manusia. Polifosfat merupakan aditif yang teruji untuk makanan dan tidak memerlukan peringatan khusus dalam penanganannya. Senyawa polifosfat digunakan secara luas sebagai penahan api dalam banyak produk, antara lain kayu, kertas, kain, dan plastik. Aditif ini juga dipakai sebagai penahan (*retardant*) untuk kebakaran hutan. Model kerjanya meliputi amonium polifosfat membentuk lapisan yang terbakar (*charred*) setelah kebakaran, sehingga mencegah api berlanjut.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Single Superfosfat

Modul 3.3-10 Single superfosfat (SSP) merupakan pupuk mineral komersial pertama dan mendorong perkembangan industri hara tanaman modern. Material ini pernah menjadi yang paling banyak digunakan sebagai pupuk, tetapi pupuk P lainnya telah banyak menggantikan SSP karena kandungan P-nya yang relatif rendah.

Produksi. Industri pupuk modern diluncurkan pada tahun 1840-an dengan penemuan penambahan asam sulfat pada fosfat alam menghasilkan pupuk larut yang sangat baik, diberi nama superfosfat. Tulang hewan yang dihaluskan pertama digunakan dalam reaksi ini, tetapi kemudian batu fosfat alami (apatit) menggantikan pasokan tulang yang terbatas. Hal tersebut menjadi SSP serupa dengan tulang atau apatit yang terjadi secara alamiah pada tanah asam. Teknik dasar berubah sangat sedikit dalam abad terakhir. Batu fosfat giling direaksikan dengan asam sulfat untuk membentuk bahan semi-padat yang mendingin beberapa jam dalam suatu tempat (*den*). Material menyerupai plastik kemudian dipindahkan dengan konveyor ke tumpukan penyimpanan untuk beberapa minggu sebagai tambahan waktu perlakuan. Material yang mengeras kemudian digiling dan disaring untuk memperoleh ukuran partikel yang tepat atau digranulasi. Reaksi kimia secara umum adalah:



SSP dengan mudah diproduksi pada satuan kecil untuk memenuhi kebutuhan wilayah. Karena SSP mengandung monokalسيوم fosfat (*monocalcium phosphate/MCP*, juga disebut kalsium dihidrogen fosfat) and gipsum, maka tidak ada masalah dengan pembuangan hasil-samping fosfogipsum yang terjadi pada pembuatan pupuk umum yang lain.

SSP juga dikenal sebagai superfosfat biasa atau superfosfat normal. Pupuk ini sering membingungkan dengan triple superfosfat (TSP), yang dibuat dari reaksi batu fosfat dengan asam fosfat.

Sifat Kimia

Kandungan P ₂ O ₅ :	16 sampai 20%
Kandungan Ca:	18 sampai 21%
Kandungan S:	11 sampai 12%
pH:	< 2



Granul single superfosfat

Penggunaan Pertanian. SSP merupakan sumber tiga unsur hara tanaman yang baik. Komponen P dalam tanah bereaksi serupa dengan pupuk mudah-larut lainnya. Keberadaan P dan S dalam SSP dapat merupakan kelebihan secara agronomis dimana kedua hara tersebut kekurangan. Pada studi agronomis yang mendemonstrasikan SSP lebih baik daripada pupuk P lainnya, biasanya disebabkan oleh kandungan S dan/atau Ca. Jika tersedia lokal, SSP digunakan secara luas untuk pemupukan ladang rumput dimana P dan S diperlukan. Sebagai sumber P tunggal, SSP sering pembiayaannya lebih mahal daripada pupuk terkonsentrasi lainnya, maka SSP telah menurun popularitasnya.

Praktek Manajemen. Tidak ada peringatan agronomis atau penanganan khusus diperlukan untuk SSP. Efektivitas agronomisnya serupa dengan pupuk fosfat kering atau cair lainnya.

Kehilangan P pada limpasan permukaan dari kebun yang dipupuk dapat berkontribusi pada masalah kualitas air. Praktek kebun yang meminimalkan kehilangan ini harus dijalankan.

Penggunaan Non-pertanian. SSP digunakan terutama sebagai sumber hara tanaman. Namun MCP dan gipsum (dua bahan utama SSP) digunakan secara luas pada banyak produk. Sebagai contoh MCP umumnya ditambahkan untuk memperkaya pakan hewan. Bahan tersebut juga secara rutin digunakan sebagai *leavening agent* yang menyebabkan produk yang dipanggang dapat mengembang. Gypsum digunakan secara luas pada industri konstruksi, demikian juga pada makanan dan farmasi.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Triple Superfosfat

Modul 3.3-11 Triple superfosfat merupakan pupuk fosfor dengan kandungan tinggi yang pertama yang dipergunakan secara luas pada abad ke 20. Secara teknis dikenal sebagai Ca dihidrogen fosfat dan monokalsium fosfat, $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$. Pupuk ini merupakan sumber P yang sangat baik, tetapi penggunaannya telah menurun ketika pupuk P lainnya menjadi lebih populer.

Produksi. Konsep produksi TSP relatif sederhana. TSP non-granul umumnya diproduksi dengan mereaksikan batu fosfat giling halus dengan asam fosfat cair dalam *cone-type mixer*. TSP granul diproduksi serupa, namun yang dihasilkan adalah cairan kental (*slurry*) yang disemprotkan sebagai pelapis pada partikel kecil untuk membuat granul dengan ukuran yang dikendaki. Produk dari kedua metode tersebut dijaga beberapa minggu agar reaksi kimia selesai secara perlahan. Kimiawi dan proses reaksi akan bervariasi sedikit tergantung pada sifat batu fosfatnya.

Sifat Kimia

Formula kimia:	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Kandungan P_2O_5 :	44 sampai 48%
Kandungan Ca:	13 sampai 15%
P larut-air:	Umumnya >90%
pH larutan:	1 sampai 3



Triple superfosfat tersedia dalam bentuk granul (pada gambar) dan non granul.

Penggunaan Pertanian. TSP mempunyai beberapa keunggulan agronomis yang menjadikannya populer sebagai sumber P bertahun-tahun. Pupuk kering yang mengandung P tertinggi tanpa mengandung N. Lebih dari 90% total P dalam TSP larut air, menjadikannya segera tersedia bagi penyerapan tanaman. Ketika kelembaban tanah melarutkan granul, larutan tanam menjadi masam. TSP juga mengandung 15% kalsium yang menyediakan tambahan hara tanaman.

Penggunaan utama TSP adalah pada kondisi beberapa pupuk padat dicampur untuk ditabur pada permukaan tanah atau aplikasi pada lajur terkonsentrasi di bawah permukaan tanah. Pupuk ini juga diminati untuk tanaman legum, seperti alfalfa atau kacang dimana tidak ada penambahan pupuk N sebagai suplemen fiksasi B biologis.

Praktek Manajemen. Popularitas TSP telah menurun disebabkan kadar hara ($\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5$) lebih rendah dari amonium fosfat seperti monoamonium fosfat yang mengandung 11% N and 52% P_2O_5 . Biaya produksi TSP dapat lebih tinggi dibandingkan dengan amonium fosfat yang menjadikan TSB secara ekonomis kurang disukai pada beberapa situasi.

Semua pupuk P harus dikelola untuk menghindari kehilangan pada limpasan air permukaan dalam kebun. Kehilangan fosfor dari tanah pertanian ke air permukaan yang berdekatan dapat berkontribusi terhadap stimulasi pertumbuhan ganggang yang tidak diinginkan. Praktek manajemen hara yang tepat dapat meminimalkan resiko ini.

Penggunaan Non-Pertanian. Monokalsium fosfat merupakan bahan yang penting dalam tepung panggang (*baking powder*). Monokalsium fosfat yang asam bereaksi dengan komponen alkalin menghasilkan karbon dioksida, yang merupakan bahan pelembut adonan (*leavening*) dari banyak produk *baking*. Monokalsium fosfat umumnya ditambahkan pada ransum ternak sebagai suplemen penting mineral fosfat dan Ca.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Batuan Fosfat

Modul 3.3-12 Penambahan fosfor diperlukan pada kebanyakan lahan di seluruh dunia untuk memperbaiki kesuburan dan produksi tanaman. Aplikasi langsung batuan fosfat (RP) yang tidak diproses pada tanah dapat menyediakan hara tanaman yang berharga pada kondisi tertentu, tetapi ada beberapa faktor dan pembatas perlu diperhatikan.

Produksi. Batu fosfat diperoleh dari deposit geologis terletak di seluruh dunia. Apatit, mineral kalsium fosfat, merupakan kandungan utama RP. Material tersebut terutama diekstrak dari deposit sedimen marin, dan sebagian kecil dari sumber gunung berapi. Kebanyakan RP dihasilkan melalui tambang permukaan, walaupun sebagian diekstrak dari tambang bawah tanah.



Bahan tambang pertama disaring dan sebagian bahan ikutan dibuang dekat lokasi penambangan. Kebanyakan RP digunakan untuk memproduksi pupuk fosfat, tetapi sebagian digunakan untuk aplikasi langsung pada tanah. Pada satu sisi RP merupakan sumber P yang berharga bagi

tanaman, tetapi tidak selalu tepat untuk aplikasi langsung. Kesesuaiannya bergantung sebagian pada ketidakmurnian mineral alami, seperti liat, karbonat, besi, dan aluminium (Al). Efektivitas RP untuk aplikasi langsung diperkirakan di laboratorium dengan melarutkan batuannya pada larutan mengandung asam terlarut untuk simulasi kondisi tanah. Sumber yang tergolong reaktivitas tinggi merupakan bahan yang paling sesuai untuk aplikasi tanah langsung.

Penggunaan RP langsung menghilangkan proses ekstra yang berkaitan dengan konversi apatit menjadi bentuk tersedia. Proses minimal dapat menghasilkan sumber hara biaya-rendah dan menjadikannya dapat diterima dalam sistem produksi tanaman organik.

Penggunaan Pertanian. Ketika pupuk P larut air ditambahkan pada tanah, pupuk akan cepat melarut dan bereaksi membentuk senyawa dengan kelarutan rendah. Ketika RP ditambahkan pada tanah, pupuk akan melarut lambat untuk melepaskan hara secara bertahap, tetapi laju pelarutannya terlalu lambat untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat pada beberapa tanah. Untuk mengefektifkan RP, faktor-faktor ini harus diperhatikan:

- pH tanah: RP memerlukan kondisi tanah asam sebagai sumber hara yang efektif. Penggunaan RP biasanya tidak disarankan ketika pH tanah melebihi 5,5. Penambahan kapur untuk meningkatkan pH tanah dan menurunkan keracunan Al menyebabkan penurunan kelarutan RP.
- Kapasitas fiksasi P tanah: Kelarutan RP meningkat sejalan dengan peningkatan kapasitas fiksasi P tanah yang lebih besar (seperti kandungan liat yang tinggi).
- Sifat tanah: Kalsium rendah dan bahan organik tinggi dalam tanah cenderung meningkatkan kelarutan RP.
- Penempatan: Penaburan RP dan pembenaman dengan pengolahan meningkatkan laju reaksinya dengan tanah.
- Spesies: Beberapa tanaman dapat menggunakan RP lebih baik karena ekskresi bahan organik tanaman tersebut dari perakaran ke zona tanah di sekitarnya.
- Waktu: Waktu yang diperlukan RP untuk melarut menjadikan perlu aplikasi dilakukan terlebih dahulu sebelum dibutuhkan tanaman.

Praktek Manajemen. Tidak semua RP yang tidak diproses sesuai untuk aplikasi langsung pada tanah. Selain itu, banyak tanah tidak sesuai untuk penggunaan RP. Total kandungan P pada material bukan prakiraan yang baik terhadap reaktivitas potensial dalam tanah. Sebagai contoh, banyak sumber RP magma (*igneous*) mengandung total P tinggi, tetapi reaktivitasnya rendah dan menyediakan hara tanaman minimal karena kelarutannya sangat lambat. Namun demikian, jamur mikoriza dapat membantu dalam pelepasan P dari material yang kelarutannya rendah pada lingkungan tertentu.

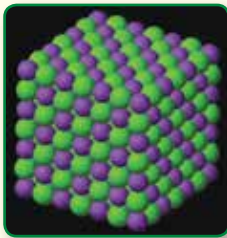
Lebih dari 90% RP dikonversi menjadi pupuk P larut melalui reaksi dengan asam. Hal ini serupa dengan reaksi kimia yang dialami RP saat bereaksi dengan keasaman tanah. Efektivitas RP secara agronomis dan ekonomis dapat setara dengan pupuk P yang larut air pada beberapa kondisi, tetapi keadaan khusus harus dipertimbangkan ketika membuat pilihan ini.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Kalium Klorida

Modul 3.3-13 Pupuk kalium biasanya digunakan untuk mengatasi defisiensi tanaman. Ketika tanah tidak dapat menyediakan jumlah K yang diperlukan tanaman, perlu untuk menambah hara tanaman esensial ini. Kalium merupakan terminologi umum untuk menyatakan berbagai pupuk yang mengandung K yang digunakan pada pertanian. Kalium klorida (KCl) adalah sumber yang paling umum digunakan, juga sering dinyatakan sebagai kalium muriat atau MOP (muriat adalah nama lama garam yang mengandung klorida). Kalium selalu berada dalam mineral sebagai kation bervalensi tunggal (K^+).

Produksi. Deposit kalium pada tambang yang dalam ditemukan di seluruh dunia. Mineral dominan adalah sylvit (KCl) bercampur dengan halit (natrium klorida), membentuk mineral campuran yang disebut sylvinite. Kebanyakan K diambil dari deposit marin tua jauh di bawah permukaan bumi. Bahan tambang tersebut kemudian ditransportasikan ke fasilitas pengolahan dimana material dihancurkan dan garam K dipisahkan dari garam natrium.



Kalium klorida mengandung rasio satu-satu dari dua unsur.

Warna KCl dapat bervariasi dari merah ke putih, bergantung pada sumber tambang sylvinite. Bercak kemerahan berasal dari besi oksida dalam jumlah yang sangat kecil. Tidak ada perbedaan agronomis antara warna KCl merah dan putih.

Sebagian KCl diproduksi dengan injeksi air panas jauh ke dasar deposit untuk melarutkan mineral sylvinite dapat-larut dan kemudian memompa larutan garam (*brine*) tersebut kembali ke permukaan dimana kemudian air diuapkan. Penguapan dengan sinar matahari digunakan untuk mendapatkan garam kalium dari larutan garam di Dead Sea dan the Great Salt Lake (Utah).

Sifat Kimia

Formula kimia:	KCl
Analisis pupuk:	0-0-60
Kandungan K_2O :	60 sampai 63%
Kandungan Cl:	45 sampai 47%
Kelarutan dalam air (20°C):	344 g/L
pH larutan:	Kira-kira 7

Penggunaan Pertanian. Kalium klorida merupakan pupuk yang digunakan paling luas disebabkan biaya yang relatif rendah dan karena mengandung K tertinggi diantara sumber lainnya, 50-52% K (60 sampai 63% K_2O) and 45 sampai 47% Cl.

Lebih dari 90% kalium yang diproduksi digunakan sebagai hara tanaman. Kalium klorida sering ditaburkan pada permukaan tanah sebelum pengolahan dan penanaman. KCl juga diaplikasikan pada lajur terkonsentrasi dekat dengan biji. Karena melarutnya pupuk akan meningkatkan konsentrasi garam terlarut, KCl dalam lajur ditempatkan pada sisi biji untuk menghindari kerusakan perkecambahan tanaman.



Kalium klorida ditemukan dalam berbagai warna dan ukuran pertikel.

Kalium klorida segera melarut dalam air. Kation K^+ akan ditahan pada kompleks pertukaran kation yang bermuatan negatif pada liat atau bahan organik. Anion Cl^- akan segera bergerak bersama air. KCl khususnya yang murni dapat dilarutkan sebagai pupuk cair atau diaplikasikan melalui sistem irigasi.

Praktek Manajemen. Kalium klorida terutama digunakan sebagai sumber hara K. Namun demikian, ada beberapa wilayah yang tanamannya lebih tanggap terhadap aplikasi Cl. Kalium klorida biasanya merupakan material yang disukai untuk memenuhi hal tersebut. Tidak ada dampak nyata pada air dan udara terkait dengan aplikasi normal KCl. Kenaikan konsentrasi garam di sekitar pupuk yang terlarut dapat menjadi bahan perhatian yang paling penting.

Penggunaan Non-pertanian. Kalium esensial bagi kesehatan manusia dan hewan. Nutrisi ini harus selalu dicerna karena badan tidak menyimpannya. Kalium klorida dapat digunakan sebagai garam pengganti untuk individu yang dilarang makan garam (natrium klorida). Bahan ini digunakan sebagai bahan pembuang es (*de-icing*) dan mempunyai nilai hara setelah es mencair, juga digunakan pada pelembut (*softeners*) air untuk menggantikan kalsium dalam air.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Kalium Sulfat

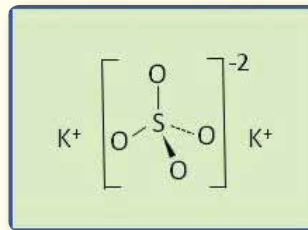
Modul 3.3-14 Pupuk kalium umumnya ditambahkan untuk memperbaiki produksi dan kualitas tanaman yang tumbuh pada tanah kekurangan dari kecukupan pasokan hara esensial ini. Kebanyakan pupuk K berasal dari deposit garam tua di seluruh dunia. Kata “potash” merupakan terminologi umum yang kebanyakan mengacu pada kalium klorida (KCl), tetapi juga berlaku untuk semua pupuk lain yang mengandung K, seperti kalium sulfat (K_2SO_4 , umumnya diacu sebagai *sulfate of potash*, SOP).

Produksi. Kalium merupakan unsur yang tersedia melimpah pada permukaan bumi dan produksi pupuk kalium muncul pada setiap benua yang dihuni. Namun demikian, K_2SO_4 jarang ditemukan dalam bentuk murni di alam, tetapi tercampur secara alami dengan garam mengandung Mg, Na, dan Cl. Mineral tersebut memerlukan tambahan proses untuk memisahkan komponen-komponennya. Dalam sejarah, K_2SO_4 dibuat dengan mereaksikan KCl dengan asam sulfat. Namun demikian, pada waktu belakangan ditemukan bahwa sejumlah mineral bumi dapat diubah untuk menghasilkan K_2SO_4 dan hal ini menjadi metode yang paling umum. Sebagai contoh, mineral alami mengandung K (seperti kainit dan schoenit) yang ditambang dan dicuci dengan cermat dengan air dan larutan garam untuk membuang produk-samping dan memproduksi K_2SO_4 . Proses serupa digunakan untuk memperoleh K_2SO_4 dari Great Salt Lake di Utah dan dari tambang mineral bawah tanah.

Di New Mexico (USA), K_2SO_4 dipisahkan dari mineral langbeinit dengan mereaksikannya dengan larutan KCl, yang akan menghilangkan produk-samping (seperti Mg) dan meninggalkan K_2SO_4 . Teknik proses serupa digunakan di banyak tempat di dunia, bergantung pada bahan mentah yang tersedia.

Sifat Kimia

Formula kimia:	K_2SO_4
Kandungan K_2O :	48 sampai 53%
Kandungan S:	17 sampai 18%
Kelarutan (25°C):	120 g/L
pH larutan:	Kira-kira 7



Penggunaan Pertanian. Konsentrasi K dalam tanah sering terlalu rendah untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat. Kalium dibutuhkan untuk melengkapi fungsi-fungsi esensial dalam tanaman, seperti reaksi dengan pengaktifan enzim, sintesis protein dan pembentukan pati dan gula, serta pengaturan aliran air dalam sel dan daun.

Kalium sulfat merupakan sumber hara yang sangat baik untuk tanaman. Kandungan K dalam K_2SO_4 tidak berbeda dengan pupuk kalium umum lainnya. Namun demikian, pupuk ini juga menyediakan sumber S yang berharga, yang kadang-kadang kekurangan bagi pertumbuhan tanaman. Sulfur diperlukan untuk sintesis protein dan fungsi enzim. Terdapat tanah tertentu dan tanaman dimana penambahan Cl⁻ harus dihindari. Dalam hal ini, K_2SO_4 merupakan sumber yang sangat sesuai. Kalium sulfat kelarutannya hanya sepertiga dari kelarutan KCl, sehingga tidak umum melarutkannya dalam air sebagai tambahan dalam air irigasi kecuali diperlukan tambahan S.

Beberapa ukuran partikel umunya tersedia. Ukuran halus (<0,015 mm) digunakan untuk membuat larutan untuk air irigasi atau penyemprotan daun mengingat pupuk tersebut melarut dengan segera. Penyemprotan daun dengan K_2SO_4 merupakan hal yang mudah untuk mengaplikasikan tambahan K dan S bagi tanaman, sebagai tambahan hara yang diserap dari tanah. Kerusakan daun dapat terjadi jika konsentrasi terlalu tinggi.

Praktek Manajemen. K_2SO_4 sering digunakan untuk tanaman ketika tambahan Cl⁻ diinginkan dari pupuk KCl yang lebih umum. Indeks garam partial K_2SO_4 lebih rendah dari beberapa pupuk K yang umum, jadi lebih sedikit salinitas yang ditambahkan per unit K. Pengukuran garam (EC) dari larutan K_2SO_4 adalah kurang dari sepertiga dari larutan KCl dengan konsentrasi yang serupa (10 mmol/L). Dimana dosis K_2SO_4 diperlukan, umumnya disarankan untuk dibagi menjadi beberapa aplikasi. Hal ini membantu menghindari akumulasi kelebihan K oleh tanaman dan juga meminimalkan adanya potensial kerusakan karena garam.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Kalium Magnesium Sulfat: Langbeinit

Modul 3.3-15 Langbeinit merupakan sumber hara tanaman karena tiga hara esensial secara alami tergabung dalam satu mineral. Mineral ini menyediakan pasokan K, Mg dan S tersedia untuk pertumbuhan tanaman.

Produksi. Langbeinit merupakan material geologis yang berbeda yang dijumpai hanya di beberapa lokasi di dunia. Pasokan komersial langbeinit berasal dari tambang bawah tanah dekat Carlsbad, New Mexico (USA), yang secara komersial dikembangkan pada tahun 1930-an. Deposit ini terbentuk jutaan tahun yang lalu ketika beragan garam termasuk langbeinit tertinggal setelah penguapan air pada hamparan lautan kuno.

Deposit garam ini tertimbun ratusan meter oleh sedimen. Deposit langbeinit saat ini ditambang dengan peralatan bor besar, dicuci untuk menghilangkan kotoran, dan kemudian dihancurkan menjadi berbagai ukuran partikel. Langbeinit dianggap sebagai pupuk kalium (atau berisi K), walaupun material tersebut mengandung Mg dan S. Kandungan kotoran jumlah sedikit besi oksida menjadikan sebagian langbeinit partikel berwarna bercak kemerahan.

Sifat Kimia

Formula kimia:	$K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$
Kandungan K_2O :	21 sampai 22%
Kandungan Mg:	10 sampai 11%
Kandungan S:	21 sampai 22%
Kelarutan dalam air (20°C):	240 g/L
pH larutan:	Kira-kira 7



Operasi tambang bawah tanah

Penggunaan Pertanian. Langbeinit merupakan pupuk yang populer, khususnya dimana beberapa hara diperlukan untuk menyediakan hara tanaman yang cukup. Pupuk ini mempunyai kelebihan karena mengandung K, Mg, dan S pada setiap partikel, yang menjadikan distribusi hara seragam ketika ditabur di kebun. Karena keekonomian, Langbeinit tidak disarankan untuk memenuhi seluruh kebutuhan K bagi tanaman, tetapi dosis aplikasi berdasarkan kebutuhan Mg dan/atau S.

Langbeinit larut keseluruhannya dalam air, namun lebih lambat dibandingkan beberapa pupuk K umum lainnya karena partikel lebih padat dari pada sumber K lainnya. Karena itu, pupuk ini tidak sesuai untuk dilarutkan dan diaplikasikan melalui sistem irigasi kecuali digiling halus. Pupuk ini mempunyai pH netral, dan tidak berkontribusi terhadap keasaman atau kebasaan tanah. Hal ini beda dengan sumber pupuk Mg lainnya (seperti dolomit) yang akan meningkatkan pH tanah dan dari unsur S atau amonium sulfat yang akan menurunkan pH tanah.

Pupuk ini sering digunakan pada situasi diperlukan pupuk bebas Cl, seperti pada tanaman yang sensitif terhadap Cl (beberapa sayuran dan tanaman pohon tertentu). Langbeinit merupakan pupuk yang padat hara dengan indeks garam yang relatif rendah. Sumber tertentu langbeinit telah disertifikasi untuk digunakan pada produksi tanaman organik pada beberapa negara.

Praktek Manajemen. Langbeinit tidak terlarang bagi lingkungan atau kegunaan hara ketika digunakan dengan dosis pertanian umum. Satu bentuk langbeinit dijual sebagai pakan dengan mutu ransum sumber K, Mg, dan S untuk hewan dan unggas. Ketiga hara ini diperlukan untuk nutrisi hewan dan masing-masing mempunyai fungsi metabolisme yang diperlukan untuk kesehatan ternak optimal. Mineral pakan ini dikenal aman oleh badan pemerintah. Seperti pada hara tanaman, Praktek Manajemen terbaik (*best management practices*) harus diobservasi dalam penggunaan sumberdaya ini. Ukuran partikel tertentu harus sesuai dengan kebutuhan tertentu.

Penggunaan Non-Pertanian. Tidak ada aplikasi industri utama untuk langbeinit di luar pertanian.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

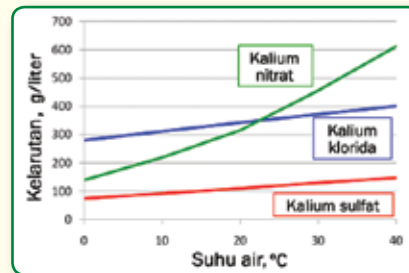
Kalium Nitrat

Modul 3.3-16 Kalium nitrat (KNO₃) merupakan sumber dua hara utama tanaman yang larut. Umumnya digunakan sebagai pupuk untuk tanaman bernilai tinggi yang bermanfaat sebagai hara nitrat (NO₃⁻) dan sumber kalium (K⁺) yang bebas dari klorida (Cl).

Produksi. Pupuk kalium nitrat (kadang-kadang disebut juga potassium nitrat) biasanya dibuat dengan mereaksikan kalium klorida (KCL) dengan sumber nitrat. Bergantung dari tujuannya, dan ketersediaan sumbernya, nitrat dapat berasal dari natrium nitrat, asam nitrat atau amonium nitrat. KNO₃ yang dihasilkan adalah identik, terlepas dari proses pembuatannya. Kalium nitrat biasanya dijual dalam bentuk material yang dikristalkan namun larut dengan air, atau dalam bentuk butiran pupuk yang langsung dapat digunakan pada tanah. Secara tradisi, bentuk ini lebih dikenal dengan istilah sendawa.

Sifat Kimia

Formula kimia:	KNO ₃
Kandungan N:	13%
Kandungan K ₂ O:	44 sampai 46%
Kelarutan dalam air (20°C):	316 g/L
pH larutan:	7 sampai 10



Daya larut air pupuk K umum

Penggunaan Pertanian. Penggunaan KNO₃ sangat dibutuhkan pada keadaan dimana sumber hara yang sangat mudah larut dan bebas klorida. Semua N yang tersedia dapat segera diserap oleh tanaman sebagai nitrat, tanpa membutuhkan tindakan atau transformasi mikroba lainnya pada tanah. Para petani sayuran dan buah-buahan biasanya lebih memilih untuk menggunakan hara dengan bahan dasar nitrat untuk meningkatkan hasil dan kualitas. Kalium nitrat mengandung jumlah K yang tinggi dengan rasio N terhadap K sekitar 1:3. Banyak tanaman yang membutuhkan K yang tinggi dan dapat menyerap lebih banyak K daripada N pada saat panen.



Kristal dan prill KNO₃

Penggunaan KNO₃ pada tanah dilakukan sebelum musim tanam atau sebagai tambahan pada musim tanam. Larutan yang diencerkan kadang-kadang disemprotkan pada dedaunan untuk menstimulasi proses fisiologis atau untuk mengatasi kekurangan hara. Pemberian K pada daun ketika buah sedang tumbuh dapat berguna bagi beberapa tanaman, karena pada masa ini seringkali dibutuhkan K dalam jumlah yang banyak, bertepatan dengan menurunnya aktivitas akar dan serapan hara. Proses ini umumnya juga digunakan pada tanaman yang dikembangkan di rumah kaca dan kultur hidroponik.

Praktek Manajemen. Baik N maupun K dibutuhkan oleh tanaman untuk mendukung kualitas hasil panen, pembentukan protein, ketahanan terhadap penyakit dan efisiensi penggunaan air. Dengan demikian, KNO₃ seringkali digunakan pada tanah melalui sistem irigasi pada musim tanam untuk mendukung pertumbuhan yang sehat.

Kalium nitrat hanya merupakan bagian kecil dari pasar pupuk K di dunia. Utamanya digunakan apabila komposisi dan sifatnya yang unik untuk dapat memberikan keuntungan yang spesifik bagi para petani. Pupuk ini mudah digunakan dan cocok dengan banyak pupuk lainnya, termasuk penggunaan pada tanaman dengan nilai jual yang tinggi termasuk gandum dan tanaman serat.

Tingkat kelarutan KNO₃ yang relatif tinggi pada kondisi hangat memungkinkan terbentuknya larutan yang lebih pekat dari pupuk umum K lainnya. Pengelolaan air yang hati-hati dibutuhkan untuk memastikan nitrat tidak mengalir di bawah areal perakaran.

Penggunaan Non-pertanian. Kalium nitrat telah lama digunakan untuk kembang api dan bubuk mesiu. Saat ini, umumnya lebih banyak digunakan pada makanan untuk menjaga kualitas daging dan keju. Pasta gigi spesial juga mengandung KNO₃ untuk mengurangi sensitivitas gigi. Campuran KNO₃ dengan natrium nitrat (NaNO₃) digunakan untuk menyimpan panas pada instalasi tenaga matahari.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Kiserit

Modul 3.3-17 Kiserit adalah mineral alami yang dikenal secara kimia dengan nama magnesium sulfat monohidrat ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Berasal dari endapan geologis di lingkungan laut dan menyediakan sumber Mg dan S yang mudah larut bagi hara tanaman.

Produksi. Kiserit diperoleh dari endapan mineral bawah tanah di Jerman. Ditemukan pada sisa-sisa laut purbakala yang menguap dan terkubur dibawah permukaan bumi. Sumber mineral ini mengandung hara tanaman yang berharga. Bahan tambang dibawa ke permukaan untuk dipisahkan garam magnesium dari garam kalium dan natrium menggunakan proses unik elektrostatik kering (ESTA).

Kristalin Kiserit halus dijual untuk penggunaan langsung pada tanah, atau dijadikan butiran yang lebih besar untuk penyebaran pupuk secara mekanik dan pencampuran dengan pupuk jenis lain.

Sifat Kimia

Formula kimia:	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Kandungan Mg:	16% (kiserit halus); 15% (kiserit butiran)
Kandungan S:	22% (kiserit halus); 20% (kiserit butiran)
Kelarutan dalam Air:	417 g/L (20 °C)
pH larutan:	9



Kiserit halus



Kiserit granul



Operasi tambang untuk mengambil kiserit

Penggunaan Pertanian. Kiserit merupakan bentuk yang terkonsentrasi dua mineral tanaman - Mg dan S. Karena aplikasi Kiserit tidak mempengaruhi kadar keasaman tanah, sehingga dapat digunakan pada semua jenis tanah. Tidak berkaitan dengan pH tanah. Biasanya digunakan sebelum musim tanam atau pada musim tanam untuk memenuhi kebutuhan hara tanah. Mengingat daya larut yang tinggi memungkinkan Kiserit untuk digunakan untuk menyediakan kedua unsur Mg dan S selama periode kebutuhan tanaman yang tinggi. Karena merupakan bahan tambang dan terbentuk melalui proses alami, Kiserit diizinkan sebagai sumber hara organik oleh beberapa lembaga sertifikasi organik.

Kiserit tidak digunakan sebagai pupuk pada daun atau sistem fertigasi, namun berfungsi sebagai bahan mentah untuk pembentukan garam Epsom ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), yang dapat larut dengan mudah dan cocok untuk sistem fertigasi dan pemupukan pada daun.

Praktek Manajemen. Banyak tanah yang kandungan Mg-nya rendah dan membutuhkan tambahan hara untuk mendukung produksi dan kualitas. Tanah berpasir dan tanah dengan kadar pH yang rendah (seperti tanah tropis yang lapuk) seringkali juga dicirikan dengan ketersediaan Mg yang rendah bagi tanaman. Pada kondisi ini, prasyarat untuk meningkatkan jumlah Mg di dalam tanah adalah dengan membagi pemberian Mg ke dalam 2 dosis atau lebih direkomendasikan pada daerah dengan curah hujan tinggi untuk menghindari kehilangan karena pencucian. Tanah di daerah beriklim sedang dengan kandungan liat yang lebih tinggi dapat memiliki kadar Mg yang lebih tinggi dan sering memiliki resiko pencucian yang lebih rendah.

Dosis aplikasi pupuk Mg berbeda-beda tergantung pada faktor-faktor seperti kebutuhan tanaman yang spesifik, jumlah yang diserap (terambil) saat panen dan kemampuan tanah untuk melepaskan Mg yang cukup dalam jangka waktu yang tepat untuk mendukung produksi dan kualitas. Aplikasi Kiserit biasanya berkisar antara 200 hingga 300 kg/ha untuk banyak tanaman. Tambahan Mg dan S dibutuhkan pada puncak pertumbuhan dapat dipenuhi oleh aplikasi pemupukan pada daun dengan menggunakan garam Epsom atau berbagai hara dapat larut lainnya.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Sulfur

Modul 3.3-18 Sulfur didistribusikan ke seluruh dunia dalam bentuk yang bervariasi. Pada beberapa jenis tanah, kandungan S tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Ada banyak produk pupuk yang memiliki kandungan S yang baik dan dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan ini.

Produksi. Sulfur cukup banyak ditemukan pada lapisan atas bumi, dikeluarkan dalam bentuk S murni dari endapan gunung berapi dan kubah garam. Saat ini S lebih banyak didapatkan dari hasil proses bahan bakar fosil. Batu bara, minyak mentah dan gas alam biasanya mengandung antara 0,1% dan 4% S yang dipisahkan dalam proses pengilangan atau penggosokan pembakaran gas. Banyak jenis mineral lainnya yang digunakan sebagai sumber S pada pertanian.

Unsur S meleleh pada suhu yang cukup rendah (115°C), sehingga seringkali dipindahkan dalam bentuk cair yang panas sebelum dibentuk menjadi hasil akhirnya. Mayoritas produksi S diubah menjadi asam sulfat (H_2SO_4) untuk proses lebih lanjut. Penggunaan utama asam sulfat adalah untuk memproduksi pupuk fosfat.

Sumber Umum Sulfur

Tidak larut	Unsur S
Semi larut	Gypsum (15 to 17% S)
Larut	Amonium sulfat (24% S); garam Epsom (13% S); Kiserit (23% S); Langbeinite (22% S); Kalium sulfat (18% S); Thiosulfat (10 to 26% S)



Unsur S



Pastil sulfur berisi sejumlah kecil liat untuk meningkatkan dispersi dan oksidasi

Penggunaan Pertanian. Unsur S tidak larut dalam air dan harus dioksidasi menggunakan bakteri tanah (seperti *Thiobacillus*) menjadi sulfat (SO_4^{2-}) sebelum dapat diserap oleh akar tanaman. Reaksi yang biasanya terjadi adalah $2S + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4$. Kecepatan proses mikrobial ini ditentukan oleh faktor lingkungan seperti suhu tanah dan kelembaban, dan juga sifat fisik unsur S.

Tanaman hampir secara khusus menggunakan sulfat sebagai sumber utama hara, yang kemudian diubah menjadi zat yang penting seperti protein dan enzim. Banyak pendekatan yang digunakan untuk meningkatkan perubahan unsur S menjadi sulfat yang dapat diserap oleh tanaman. Kecepatan oksidasi unsur S bergantung pada besar partikel, dimana partikel berukuran lebih kecil memiliki luas permukaan lebih besar bagi aktivitas bakteri tanah. Dengan demikian, partikel S yang besar memerlukan waktu berbulan-bulan atau bertahun-tahun dalam proses biologis sebelum mengoksidasi jumlah sulfat yang cukup. Partikel halus berukuran debu dapat dioksidasi dengan cepat, namun tidak dapat digunakan dengan mudah.

Satu pendekatan untuk meningkatkan kecepatan oksidasi S adalah dengan menambahkan tanah liat ke dalam S yang sudah dilelehkan sebelum pendinginan dan pembentukan pelet kecil (pastil). Pada saat pemupukan, tanah liat akan mengembang saat terkena air dan pelet kecil akan terpecah menjadi partikel halus yang teroksidasi dengan cepat.

Lapisan S yang sangat tipis dapat dimasukkan saat pembuatan pupuk granul. S cepat teroksidasi dan dapat diserap langsung oleh tanaman. Reaksi ini berdampak positif pada ketersediaan mikronutrien pada tanaman seperti seng (Zn) dan besi (Fe), yang menjadi lebih larut ketika pH menurun. Unsur S yang digiling halus kadang-kadang dapat ditambahkan ke suspensi pupuk.

Unsur S secara luas digunakan sebagai fungisida, dimana racun hidrogen sulfida terbentuk dari interaksi unsur S dengan jaringan hidup fungi. Unsur S dan asam sulfat umum digunakan pada reklamasi lahan dengan kadar natrium yang berlebihan dan pada perawatan air irigasi.

Praktek Manajemen. Sulfur tersedia dalam banyak bentuk untuk memenuhi kebutuhan peranaman tertentu. Unsur S biasanya digunakan dengan baik di awal dari kebutuhan tanaman, karena terjadinya selisih waktu untuk oksidasi bakteri dan perubahan menjadi sulfat. Mengingat sulfat adalah anion, maka ada resiko tercuci sama seperti nitrat. Namun demikian, tidak ada dampak lingkungan yang merugikan dengan adanya konsentrasi umum sulfat di air.

Penggunaan Non-pertanian. Sulfur secara umum digunakan pada pengguna dan barang industri. Sebagai contoh, umumnya mengubah sulfur menjadi sulfat sebelum digunakan pada tekstil, karet, deterjen dan kertas.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Thiosulfat

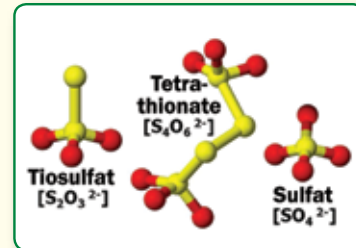
Modul 3.3-19 Pupuk Thiosulfate ($S_2O_3^{2-}$) adalah cairan bening yang merupakan sumber sulfur dan dapat digunakan pada beragam situasi. Pupuk ini juga mengandung hara lainnya seperti N sebagai amonium (ATS), kalium (KTS), kalsium (CaTS) atau magnesium (MgTS).

Produksi. ATS adalah pupuk cair dengan kandungan S yang paling umum digunakan. Terbentuk dari reaksi sulfur dioksida, unsur S dan amonia cair. Pupuk Thiosulfat lainnya diproduksi dengan cara yang mirip.

Thiosulfat adalah bahan yang mudah larut dalam air dan dapat digunakan dengan pupuk cair lainnya. ATS biasanya dicampur dengan urea amonium nitrat (UAN) untuk memproduksi pupuk dengan kadar 28-0-0-5 (5% S).

Sifat Kimia

Formula	Nama umum	Kandungan hara	Kepadatan, kg/L	pH
$(NH_4)_2S_2O_3$	ATS	12% N; 26% S	1,34	7 to 8,5
$K_2S_2O_3$	KTS	25% K_2O ; 17% S	1,46	7,5 to 8
CaS_2O_3	CaTS	6% Ca; 10% S	1,25	6,5 to 8
MgS_2O_3	MgTS	4% Mg; 10% S	1,23	6,5 to 7,5



Penggunaan Pertanian. Setelah diaplikasikan pada tanah, sebagian besar tiosulfat bereaksi membentuk tetrathionate yang kemudian membentuk sulfat. Tiosulfat biasanya tidak dapat diserap oleh tanaman sampai dikonversi menjadi sulfat. Pada iklim yang hangat, proses ini biasanya selesai dalam waktu satu sampai dua minggu.

Tiosulfat bahan kimia pereduksi dan menghasilkan asam setelah oksidasi S. Oleh karena itu, molekul tiosulfat memiliki reaksi unik dengan sifat kimiawi dan biologis tanah. Contohnya, penggunaan ATS pada jalur dapat meningkatkan daya larut beberapa micronutrien. Panduan lokal harus ditaati untuk jumlah benih yang dapat ditanam pada satu baris.

Tiosulfat dapat memperlambat proses hidrolisis urea, perubahan urea menjadi amonium (NH_4^+), dan mengurangi hilangnya gas amonia (NH_3) ketika jumlah ATS yang cukup dicampur dengan UAN. Efek penghambatan ini tampaknya karena terbentuk dan keberadaan tetrathionate intermediet, dan bukan karena tiosulfat itu sendiri. Nitrifikasi, yaitu perubahan NH_4^+ menjadi nitrat, juga memperlambat pemunculan ATS. Meskipun tingkat keasaman pada pupuk tiosulfat mendekati netral, namun tiosulfat beroksidasi untuk membentuk asam sulfat dan NH_4^+ pada ATS untuk kemudian membentuk asam nitrat (nitric acid), hasilnya adalah sedikit keasaman tanah pada areal yang diaplikasi.

Tiosulfat dapat diaplikasikan melalui permukaan dan sistem irigasi atas tanah, alat penyiram (*sprinkler*) dan irigasi tetes. Kebanyakan digunakan pada semprot daun untuk memberikan hara dengan cepat (tidak direkomendasikan dengan ATS).

Praktek Manajemen. Defisiensi sulfur ditemukan pada banyak tanaman di seluruh dunia. Tiosulfat adalah pupuk yang berharga karena sangat mudah penanganan dan aplikasinya, hanya membutuhkan tindakan keamanan minimal, dan cocok dengan jenis pupuk umum lainnya. Namun demikian, pupuk jenis ini seharusnya tidak dicampur dengan larutan dengan tingkat keasaman yang tinggi karena dapat mengakibatkan dekomposisi molekul tiosulfat dan kemudian terjadi pelepasan gas sulfur dioksida yang berbahaya.



Penggunaan Non-pertanian. Tiosulfat digunakan di berbagai aplikasi industri. Pada proses fotografi, digunakan untuk mengikat atom perak yang ada pada film atau kertas. Natrium tiosulfat juga digunakan pada sistem pengolahan air untuk menghilangkan klorin. Selain itu, digunakan juga untuk ekstraksi emas karena dapat membentuk kompleks yang tidak beracun dengan logam ini.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifcifs>

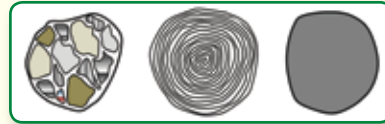
Pupuk Majemuk

Modul 3.3-20 Banyak tanah yang membutuhkan tambahan hara yang penting untuk mengurangi defisiensi tanaman. Petani dapat memilih kombinasi pupuk tunggal atau pupuk majemuk yang terdiri dari kombinasi hara ke dalam setiap butiran. Kombinasi pupuk ini (majemuk) dapat memberikan kemudahan di lapangan, penghematan ekonomi, dan mudah memenuhi kebutuhan hara tanaman.

Produksi. Pupuk majemuk dibuat dengan pupuk dasar seperti NH_3 , amonium fosfat, urea, S, dan garam K. Ada banyak metode yang dapat digunakan untuk membuat pupuk ini, dengan proses pembuatan tertentu berdasarkan ketersediaan komponen dasar dan hara apa yang diinginkan pada hasil akhirnya. Berikut ini empat contohnya.

Metode Pemadatan (aglomerasi) mengikat partikel pupuk yang kecil melalui pemadatan, penyemenan dan ikatan kimia. Beragam rasio hara dapat dikombinasikan dengan partikel-partikel kecil yang mungkin tidak cocok digunakan untuk hal lainnya.

Pupuk berbasis akresi dibuat dengan menambahkan lapisan hara tipis yang dikeringkan sehingga membentuk lapisan berganda hingga mencapai ukuran butiran yang diinginkan.



Reaktor pipe-cross digunakan untuk melelehkan NH_3 secara kimiawi, asam yang mengandung S atau P, dan hara lainnya seperti K dan mikronutrien, sehingga membentuk pupuk yang padat dengan hara yang diinginkan.

Proses nitrofosfat melibatkan batuan fosfat dengan asam nitrat untuk membentuk campuran yang mengandung N dan P. Jika sumber K ditambahkan pada proses, maka akan terbentuk pupuk padat dengan kandungan N, P dan K.

Penggunaan Pertanian. Pupuk majemuk mengandung beberapa hara di setiap butiran. Hal inilah yang membedakannya dari pupuk yang dicampur untuk mendapatkan komposisi hara rata-rata. Perbedaan ini memungkinkan pupuk majemuk untuk disebarkan hingga butirannya memberikan campuran hara yang larut oleh air ke dalam tanah dan sekaligus menghilangkan potensi pemisahan sumber hara selama pemindahan atau pengaplikasian. Distribusi mikronutrien (unsur hara mikro) yang seragam pada zona perakaran dapat dicapai dengan memasukkan mikronutrien dalam pupuk majemuk.

Pupuk-pupuk ini efektif khususnya untuk memberikan hara dosis awal sebelum penanaman. Terdapat rasio tertentu hara tersedia dari dealer pupuk dan kondisi tanaman. Pendekatan ini memberikan keuntungan yaitu memudahkan untuk mengambil keputusan kompleks atas pupuk yang akan digunakan, namun tidak memberikan fleksibilitas mencampur pupuk untuk kebutuhan tanaman tertentu. Manajer padang turf dan pemilik perusahaan biasanya menyenangi pupuk majemuk.



Praktek Manajemen. Pupuk majemuk kadang-kadang lebih mahal daripada campuran beberapa hara utama karena ada proses ekstra yang harus dilakukan. Namun demikian, dengan mempertimbangkan semua faktor yang ada termasuk penanganan dan penggunaan hara, pupuk majemuk memberikan keuntungan lebih.



Nitrogen adalah hara yang membutuhkan penanganan cermat dan perlu diberikan ulang selama musim tanam. Biasanya tidak mungkin mendapatkan N yang cukup sebelum menanam (menggunakan hanya pupuk majemuk) tanpa tumpang tindih dengan beberapa hara lainnya. Untuk itu, disarankan penggunaan pupuk majemuk pada awal musim tanam dan kemudian memberikan pupuk N hanya apabila diperlukan.

Pupuk majemuk biasanya diproduksi di tingkat regional untuk memenuhi kebutuhan tanaman di daerah tersebut. Banyak variasi sifat kimia dan fisik yang harus disesuaikan untuk memenuhi setiap kebutuhan. Misalnya, keinginan untuk meminimalisir P di daerah aliran air hujan di perkotaan mendorong beberapa komunitas untuk membatasi tambahan P dalam pupuk majemuk yang dijual untuk lapangan rumput dan fungsi hiasan. Tanah pada suatu daerah yang biasanya mempunyai hara tertentu dengan kadar rendah dapat ditingkatkan hara tersebut dengan pupuk majemuk.

Sifat-sifat Kimia. Rumus kimia bervariasi. Pupuk majemuk pada umumnya mengandung 10-10-10, 12-12-12, 17-17-17, 21-7-14 dan formula lainnya.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifc>

Pupuk Berlapis

Modul 3.3-21. Berbagai macam lapisan yang diberikan pada pupuk untuk mengontrol daya larutnya dalam tanah. Mengontrol jumlah hara yang dilepaskan dapat memberikan keuntungan bagi lingkungan, ekonomi dan hasil panen.

Produksi. Banyak jenis materi yang digunakan untuk melapisi pupuk yang larut dalam air. Biasanya pelapisan dilakukan pada pupuk granular N, namun banyak juga terjadi pada pupuk multi-nutrien. Urea, yang memiliki kadar N tertinggi dari pupuk yang larut dengan air, digunakan sebagai dasar pupuk yang dilapisi.

Unsur sulfur (S) adalah yang paling sering digunakan untuk pelapis pupuk. Caranya adalah dengan menyemprotkan S yang meleleh (cair) ke granular urea, lalu diikuti dengan lilin yang membungkus retakan atau ketidaksempurnaan lapisan (*coating*). Proses ini belakangan diperbaharui dengan menggunakan polimer organik untuk melapisi S.

Pupuk dengan lapisan lainnya dapat dibuat dengan reaksi polimer berbasis resin pada permukaan pupuk granular. Cara yang lain adalah dengan menggunakan polimer polyethylene yang berpermeabilitas rendah dikombinasikan dengan yang berpermeabilitas tinggi. Materi dan proses pelapisan berbeda tergantung pada pembuatnya.

Komposisi dan ketebalan lapisan pada pupuk disesuaikan dengan cermat untuk mengontrol kecepatan pelepasan hara untuk penggunaan tertentu. Tenggang waktu pelepasan hara dari pupuk tertentu bervariasi mulai beberapa minggu hingga beberapa bulan, seperti yang dijelaskan pada label produknya. Biaya tambahan muncul dengan menambahkan coating pada partikel pupuk, sehingga harga pupuk yang dilapisi lebih mahal dari pupuk biasa.



Penggunaan Pertanian. Pupuk yang dilapisi biasanya digunakan di berbagai situasi agrikultur dan hortikultur. Pupuk yang dilapisi dengan memberikan hara yang lebih lama yang dapat memberikan banyak kegunaan. Termasuk:

- Pelepasan hara yang berkelanjutan yang dapat mengurangi pencucian dan kehilangan dalam bentuk gas
- Tenaga kerja dan biaya aplikasi dapat dikurangi dengan menghilangkan kebutuhan aplikasi pupuk beberapa kali
- Toleransi bibit yang lebih tinggi pada penempatan pupuk yang lebih dekat
- Pelepasan hara yang lebih lama dapat memberikan keseragaman hara tanaman, pertumbuhan yang lebih baik, dan meningkatkan performa (kemampuan) tanaman

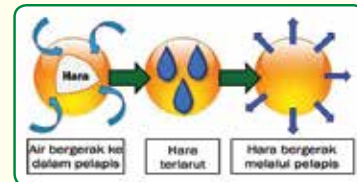
Keuntungan maksimum pada pupuk dengan lapisan ini hanya bisa didapat saat durasi pelepasan hara disesuaikan dengan tenggang waktu penyerapan hara pada tanaman.

Praktek Manajemen. Memprediksi pola pelepasan hara pada pupuk yang dilapisi pada tanah dan kondisi perawatan adalah sulit karena pelepasannya tergantung pada faktor lingkungan. Misalnya banyak pupuk yang dilapisi lebih cepat dilepaskan karena naiknya kelembaban dan suhu tanah. Beberapa produk bergantung pada aktivitas microbial untuk melepaskan hara. Perngetian mengenai mekanisme pelepasan hara dapat membantu untuk memaksimalkan penggunaan pupuk yang dilapisi.

Beberapa materi lapisan mudah rusak dan terkena abrasi, serta hancur jika berada pada lingkungan yang keras. Hindari pengelolaan berlebihan.

Penggunaan Non-pertanian. Teknologi pelepasan-terkendali merupakan hal penting pada berbagai penerapan. Yang paling terkenal adalah penggunaan pada obat-obatan untuk pelepasan berkelanjutan, yang dapat dilakukan dengan lebih sedikit frekuensi dan menjaga konsentrasi pada aliran darah. Materi yang dilapisi ini juga banyak digunakan oleh kedokteran hewan dan pengontrol hama.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>



Gypsum

Modul 3.3-22 Gypsum adalah mineral yang umum ditemukan dari endapan pada permukaan dan juga di bawah tanah. Gypsum merupakan sumber Ca dan S yang baik bagi tanaman, dan memberikan keuntungan bagi tanah dengan kondisi tertentu.

Produksi. Gypsum ditemukan dalam bentuk kristal dan bebatuan. Biasanya merupakan hasil penguapan cairan salin (basa), dan merupakan mineral paling umum di kondisi sedimen. Batu berwarna putih atau abu-abu ini ditambang dari bagian terbuka atau endapan bawah tanah, lalu dihancurkan, disaring dan digunakan untuk bermacam tujuan tanpa proses lebih lanjut. Gypsum di pertanian biasanya mengandung $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (dihidrat). Pada kondisi geologis dengan suhu dan tekanan tinggi, gypsum berubah menjadi anhidrit (CaSO_4 tanpa air).

Produk samping gypsum berasal dari bahan bakar fosil, dimana S didapatkan dari sisa pembakaran gas. Gypsum sendiri merupakan produk samping batu fosfat dalam perubahannya menjadi asam fosfat. Gypsum yang berasal dari daur ulang dinding bebatuan digiling halus dan digunakan untuk aplikasi tanah.

Sifat Kimia

Jenis kalsium sulfat	Formula & Komposisi	Kelarutan
Dihidrat (Gypsum)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [23% Ca, 18% S, 21% air]	2,05 g/L
Anhidrit	CaSO_4 [29% Ca, 23% S]	2,05 g/L
Hemi-hidrat (plaster Paris)	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	[Kembali ke gypsum ketika ditambah air]



Penggunaan Pertanian. Gypsum (kadang-kadang disebut *landplaster*) biasanya ditambahkan ke tanah sebagai sumber mineral atau untuk memodifikasi dan memperbaiki sifat tanah. Gypsum agak larut dalam air tetapi lebih mudah larut 100x dibandingkan batu kapur pada pH tanah yang netral. Bila diaplikasikan pada tanah, daya larut gypsum bergantung pada beberapa faktor seperti ukuran partikel, kelembaban tanah dan sifat tanah. Gypsum yang larut dalam air melepaskan Ca^{2+} dan SO_4^{2-} tanpa mempengaruhi pH tanah. Di lain pihak, batu kapur menetralkan keasaman pada tanah dengan pH rendah. Di beberapa daerah dengan tanah lapisan bawah asam, gypsum kadang-kadang digunakan

sebagai sumber Ca yang relatif larut untuk menghilangkan keracunan aluminium.

Beberapa tanah diuntungkan dengan penggunaan gypsum sebagai sumber Ca. Pada tanah dengan natrium (Na) berlebihan, Ca yang dilepaskan oleh gypsum akan mengikat lebih kuat dibandingkan dengan Na pada kompleks pertukaran, jadi melepaskan Na untuk dicuci keluar dari areal akar. Ketika gypsum digunakan untuk mengatasi tingginya Na dalam tanah, biasanya menghasilkan peningkatan sifat fisik—seperti mengurangi bobot jenis tanah, meningkatkan permeabilitas tanah dan infiltrasi air, dan mengurangi lapisan tanah yang keras (*soil crusting*). Pada umumnya, menambahkan gypsum saja tidak menggemburkan kepadatan atau tanah dengan liat tinggi.

Praktek Manajemen. Penggunaan paling dikenal dari gypsum adalah memberikan Ca untuk kacang tanah, yang memiliki pola pertumbuhan yang unik. Gypsum biasanya ditaburkan pada permukaan tanah dan dicampurkan ke zona perakaran. Peralatan yang ada saat ini memungkinkan pemberian gypsum melalui sistem irigasi. Gypsum juga terkadang dibuat butiran agar memudahkan penggunaan di rumah dan lapangan rumput.

Penggunaan Non-pertanian. Penggunaan utama gypsum adalah sebagai bahan bangunan (seperti plaster dan tembok). Untuk keperluan konstruksi, gypsum dihaluskan dan dipanaskan untuk menghilangkan air yang terikat, dan menghasilkan plaster Paris (hemi-hidrat). Ketika kemudian air ditambahkan, bubuk berubah menjadi gypsum dan keras ketika mengering. Gypsum juga banyak digunakan pada keperluan lainnya seperti pada perlakuan air, pada industri makanan dan obat-obatan serta pengatur ketahanan pada semen.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifcs>

Kapur

Modul 3.3-23 Kalsium karbonat, komposisi utama batu gamping, digunakan secara luas sebagai amandemen untuk menetralkan keasaman tanah dan memberikan kalsium bagi tanaman. Kata "lime" dapat mengacu kepada beberapa produk, namun pada pertanian yang dimaksud adalah kapur giling (*limestone*).

Produksi. Kapur adalah batuan sedimen yang umum ditemukan dalam deposit geologi di seluruh dunia. Telah digunakan dan tercatat pada sejarah sebagai bahan bangunan, bahan semen, dan untuk memperbaiki tanah asam di bidang pertanian. Bahan pengapuran pertanian (kapur pertanian) secara luas didefinisikan sebagai material yang mengandung Ca atau Mg dan mampu menetralkan keasaman. Banyak bahan dapat diklasifikasikan sebagai kapur pertanian.

Kapur pertanian (*Ag lime*) diekstrak dari pertambangan/tambang dan biasanya membutuhkan penghancuran secara mekanis. Kehalusan kapur pertanian penting untuk menentukan kecepatan reaksi dengan keasaman tanah. Kapur dari ukuran partikel yang lebih kecil bereaksi cepat karena area permukaan lebih terbuka untuk reaksi kimia. Partikel yang besar lebih lambat untuk bereaksi, tetapi dapat menetralkan asam yang berkelanjutan. Ukuran partikel biasanya dituliskan pada label produk.

Bahan-bahan lain pada kapur pertanian, seperti tanah liat, akan mengurangi kemurnian dan mengurangi kapasitas penetrasi asam. Efektivitas kapur pertanian dinilai berdasarkan perbandingan dengan kalsium karbonat murni (CaCO_3), nilai yang dinyatakan setara persen kalsium karbonat (CCE). Kapur pertanian lebih larut pada tanah asam daripada di tanah netral atau basa. Keberadaan CaCO_3 dalam tanah dideteksi oleh buih atau 'fiz' ketika setetes asam yang kuat diberikan.

Sifat Kimia

Batu kapur/kalsit – kalsium karbonat [CaCO_3] Kebanyakan tidak larut dalam air namun kelarutan meningkat pada kondisi asam (terdapat maksimum 40% Ca).

Dolomit – kalsium magnesium karbonat [$\text{Ca} \cdot \text{Mg}(\text{CO}_3)_2$] Kebanyakan tidak larut dalam air namun kelarutan meningkat pada kondisi asam (mengandung 2 hingga 13% Mg).

Kapur terhidrasi – kalsium hidroksida [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] Kebanyakan tidak larut dalam air; membentuk larutan pH >12.

Kapur bakar/quick lime – kalsium oksida [CaO] Bereaksi dengan air untuk membentuk kapur terhidrasi.

Penggunaan Pertanian. Fungsi utama kapur pertanian adalah untuk meningkatkan pH pada tanah asam dan mengurangi konsentrasi aluminium (Al) pada tanah. Pertumbuhan yang buruk pada tanah asam biasanya disebabkan oleh Al yang larut, yang merupakan racun bagi sistem perakaran pada banyak tanaman. Kapur dapat mengurangi kelarutan Al dengan dua reaksi berikut:

- 1) $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- + \text{CO}_2$
- 2) $\text{Al}^{3+} [\text{larut}] + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3$ [tidak larut]

Tambahan kapur pertanian juga memberikan Ca (dan mungkin Mg) yang berharga bagi hara tanaman. Beberapa keuntungan sekunder menetralkan keasaman tanah dengan kapur pertanian adalah:

- Meningkatkan ketersediaan P
- Meningkatkan N dari kacang-kacangan
- Meningkatkan mineralisasi dan nitrifikasi
- Penggunaan air, pemulihan hara dan pertumbuhan tanaman yang lebih baik dengan sistem akar yang lebih sehat



Praktek Manajemen. Jumlah kapur pertanian yang dibutuhkan untuk memperbaiki tanah pada jumlah pH yang diinginkan dapat dengan mudah diketahui di laboratorium. Kapur pertanian biasanya disebar merata pada tanah dan kemudian mencampurnya pada zona akar. Menetralkan keasaman tanah bukanlah proses satu kali, tetapi harus diulang secara periodik tergantung dari kondisi tanah dan lingkungan. Biasanya diaplikasikan dalam tonnes per hektar.

Penggunaan Non-pertanian. Batu kapur adalah salah satu material yang kebanyakan digunakan. Selain konstruksi dan pembangunan, batu kapur digunakan secara luas seperti pada pengendalian polusi udara, perlakuan sistem air minum dan air limbah, stabilisasi tanah, obat, antasid dan kosmetik.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Natrium Nitrat

Modul 3.3-24 Natrium nitrat adalah salah satu pupuk nitrogen anorganik yang dijual bebas. Merupakan bahan penting sekali dalam hara tanaman sebelum ditemukannya sintesis amonia melalui proses Haber-Bosch awal tahun 1900-an. Natrium nitrat adalah produk alam dari tambang, dan digunakan untuk memberikan hara N pada sistem tanam organik.

Produksi. Biji natrium nitrat ditambang dari permukaan di Gurun Atacama, Chile Utara. Tambang terdapat pada puncak dua meter di zona hampir 500 mil (800 km) panjang dan 10 mil (16 km) lebar. Natrium nitrat terakumulasi di daerah terpencil ini karena rendahnya curah hujan dan kondisi geologis yang unik.

Biji nitrat, disebut *caliche*, dihancurkan dan dicuci dengan air panas untuk melarutkan natrium nitrat. Larutan ini kemudian disaring dan didinginkan untuk mendapatkan produk akhir. Pada akhirnya dijual dalam bentuk kristal atau pelet. Kandungan deposit dalam jumlah kecil ada di beberapa negara, namun Chile adalah satu-satunya negara dengan sumber komersil produk ini, jadi seringkali disebut juga sebagai nitrat Chile.

Sifat Kimia

Formula kimia:	NaNO_3
Kandungan Nitrogen:	16% (sebagai nitrat)
Kandungan Natrium (Na):	26%
Kelarutan dalam air:	880 g/L (20° C)



Prill natrium nitrat



Biji caliche

Penggunaan Pertanian. Natrium nitrat merupakan sumber cepat hara N untuk tanaman karena daya larut yang tinggi. Telah digunakan sebagai sumber hara N sejak pertengahan abad ke-19 dan memiliki sejarah sebagai bahan pupuk yang berharga. Ini telah menjadi sumber pilihan hara bagi banyak tanaman, terutama tembakau, yang biasanya dipupuk dengan bentuk pupuk nitrat.

Natrium nitrat disetujui oleh Program Organik Nasional AS untuk digunakan sebagai sumber tambahan zat gizi N. Penggunaannya tersebut mengingatkan bahwa mineralisasi sumber organik N berbahan dasar karbon tidak dapat secara cepat memenuhi kebutuhan N pada pertumbuhan tanaman. Kekurangan N antara pelepasan N dan kebutuhan tanaman dapat diatasi dengan pengaplikasian natrium nitrat. Petani organik disarankan untuk memeriksa agensi sertifikasi lokal untuk penggunaan natrium nitrat yang sesuai.

Praktek Manajemen. Manajemen yang tepat diperlukan untuk mencapai keuntungan maksimum pupuk apapun, termasuk natrium nitrat. Nitrat sangat mobil di tanah, pertimbangan cermat pada penempatan, pemilihan waktu, dan nilai akan meminimalisasi kerugian yang tidak diinginkan. Natrium nitrat dapat ditaburkan ke permukaan tanah atau diaplikasikan pada sebuah area terkonsentrasi di atas, atau di bawah permukaan tanah. Sumber N ini tidak rentan terhadap kehilangan karena penguapan, sehingga dapat memberikan tambahan fleksibilitas dibandingkan dengan pupuk yang mengandung N amonium dan urea.

Perhatian sering muncul terhadap Na dalam pupuk. Terlalu banyak Na di tanah dapat merusak struktur tanah, tetapi risiko ini adalah minimal pada tingkat aplikasi umum natrium nitrat. Ketika digunakan dalam produksi organik, Na yang masuk cukup rendah. Contoh, aplikasi 30 lb N memberikan hanya 50 lb Na ke dalam tanah. Natrium tidak ditahan dengan ketat pada pertukaran kation tanah dibandingkan dengan kation lain, jadi dapat hilang karena tercuci terkena hujan atau proses irigasi.

Biji natrium nitrat adalah satu produk alami. Maka dari itu, ada banyak unsur mikro dan komponen seperti iodat, borat, perklorat, magnesium, klorida, dan sulfat.

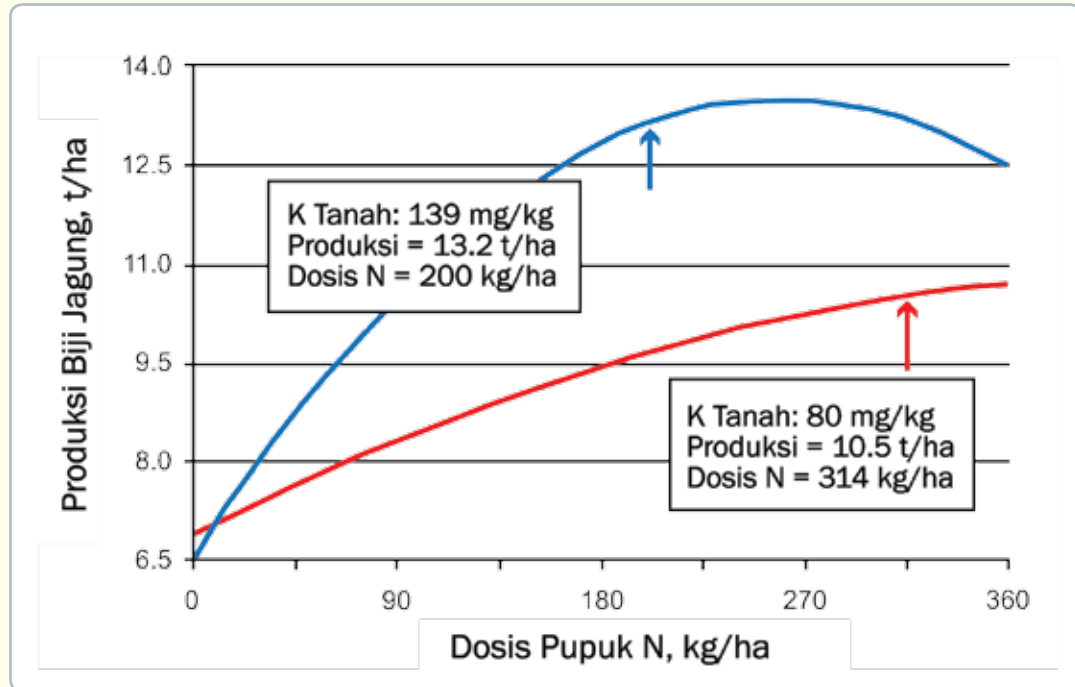
Penggunaan Non-pertanian. Natrium nitrat adalah pengoksidasi kuat yang digunakan pada berbagai proses industri dan makanan. Contoh, biasanya ditambahkan pada briket arang agar lebih mudah menyala, pada pembuatan gelas dan perlakuan air limbah. Digunakan juga sebagai penambah rasa pada daging dan unggas (jangan tertukar dengan natrium nitrit yang merupakan bahan pengawet pada daging di toko makanan).

Natrium nitrat digabungkan dengan mineral nitrat lainnya menyimpan panas pada proyek-proyek panas matahari. Mesin industri panas matahari menyimpan energi dalam garam nitrat cair bukan dalam baterai listrik.

Sumber: <http://www.ipni.net/specifics>

Modul 3.5-1 Menyeimbangkan hara nitrogen dan kalium merupakan kunci peningkatan produksi dan efisiensi penggunaan nitrogen. Manfaat maksimal dari aplikasi pupuk N diperoleh hanya ketika kekurangan sekunder K diperbaiki contoh dari Ohio, USA.

Sumber: Murrell and Munson. 1999. Better Crops with Plant Food 83(3):28-31.



Disampaikan oleh T.S. Murrell, IPNI, USA, Desember 2011.

CATATAN



Bab 4

PRINSIP-PRINSIP ILMIAH PENDUKUNG TEPAT DOSIS

Inti dasar ilmiah yang menentukan nilai yang tepat untuk kondisi yang spesifik adalah sebagai berikut:

- ◆ **Mempertimbangkan sumber, waktu dan tempat aplikasi**
- ◆ **Menilai kebutuhan nutrisi tanaman.** Produksi berhubungan langsung dengan jumlah nutrisi yang diserap oleh tanaman hingga matang. Pemilihan target hasil dapat dicapai dengan pengelolaan tanaman dan nutrisi yang optimal, dan keragaman lahan pada setiap musim, sehingga dapat memberikan panduan yang tepat untuk estimasi kebutuhan nutrisi tanaman.
- ◆ **Menggunakan metode yang tepat untuk menilai penyediaan hara tanah.** Pada prakteknya termasuk analisa tanah dan tanaman, percobaan reaksi, analisa penghilangan petak, dll.
- ◆ **Menilai semua sumber hara yang ada.** Untuk sebagian besar pertanian, penilaian ini termasuk jumlah dan ketersediaan tanaman yang menggunakan pupuk kandang, kompos, biosolids, residu tanaman, deposisi atmosferik dan air irigasi, serta pupuk komersial.
- ◆ **Prediksi efisiensi penggunaan pupuk.** Beberapa kehilangan memang tidak dapat dihindari, sehingga untuk memenuhi kebutuhan tanaman, jumlahnya harus dipertimbangkan.
- ◆ **Mempertimbangkan dampaknya pada tanah.** Jika hasil hara dari sistem pertanian melebihi pemasukkannya, kesuburan tanah jangka panjang akan menurun.
- ◆ **Mempertimbangkan nilai yang spesifik secara ekonomi.** Untuk hara tidak dapat disimpan di dalam tanah, penilaian paling ekonomis adalah berdasarkan perbandingan jumlah hara yang diberikan dengan peningkatan produksi (teori penurunan hasil). Hara yang tertinggal di tanah harus dihitung nilainya bagi tanaman. Kemungkinan penilaian prediksi ekonomi dan pengaruhnya terhadap jumlah pemasukan yang disebabkan oleh prediksi yang salah.

Aplikasi suatu hara yang kurang atau berlebih dapat berdampak pada produksi tanaman, ekonomi dan/atau lingkungan. Ketika pupuk dan sumber hara lainnya dihargai murah jika dibandingkan dengan harga tanaman, maka insentif yang dihasilkan untuk rekomendasi hara cenderung kecil, kecuali tanaman memberikan respon negatif kepada pemberian hara yang berlebihan (misalnya terlalu banyak N menyebabkan gandum menjadi rebah, berkurangnya kandungan gula pada beet atau kualitas kapas), atau konsekuensi dari hara terhadap lingkungan yang dapat diprediksi sebelumnya (seperti kontaminasi P pada air). Namun, pada kondisi harga hara yang mahal dan/atau harga tanaman yang rendah, ketertarikan untuk mengembangkan program pemupukan yang efisien meningkat.

Hukum Liebig tentang kondisi minimal untuk produksi akan ditentukan oleh elemen yang keberadaannya paling terbatas. Dengan kata lain, defisiensi satu hara tidak dapat digantikan dengan kelebihan hara lainnya. Jadi 17 elemen yang diperlukan harus ada dalam jumlah yang cukup

untuk memenuhi pertumbuhan tanam. Kecukupan jumlah bergantung pada bahan, waktu dan tempat. Sumber hara harus memberikan jumlah yang tepat pada saat dan tempat yang tepat untuk memenuhi pertumbuhan tanaman.

4.1 Menilai Kebutuhan Hara Tanaman

Inti dari memilih pupuk yang tepat adalah ketersediaan hara yang sesuai dengan kebutuhan hara tanaman. Kebutuhan hara dihitung dari total jumlah hara yang diserap oleh tanaman selama musim tanam. Sebagian dari hara ini terambil dari tanah ketika panen, sementara sebagian lagi akan didaur ulang sebagai sisa tanaman. Pada beberapa kasus, penyerapan hara dan terambilnya hara kurang lebih sama dengan panen tanaman *forage* (tanaman untuk pakan ternak) untuk pakan ternak, dimana sebagian besar biomassa yang ada di atas tanah akan diambil. Pada produksi sereal gandum, hanya sedikit porsi yang diserap tumbuhan akan terambil dari lahan.

Tabel 4.1 Jumlah penyerapan hara* pada beberapa tanaman

Tanaman***	Daerah	--- kg penyerapan/t** ---			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Alfalfa (BK)	Argentina	27	5,7	25	3,5
Barley	Argentina	26	9,2	24	4,2
Bermudagrass	USA	23	6,0	25	
Kanola	China	43	27	87	
Chickpea	India	46	8,4	50	
Jagung	USA	18	9,6	25	
Anggur	China	5,6	5,2	8,5	
Mustard	India	33	15	11	14
Jeruk	China	2,6	0,8	3,6	
Peach	China	4,5	1,5	5,0	
Kacang Tanah	India	63	12	37	3,9
Pear	China	5,0	2,0	5,0	
Kacang, hijau	India	42	15	31	4,3
Kentang	Australia	4,9	2,1	12	
Padi	USA	16	8,4	24	
Safflower	India	39	8,4	22	13
Sorgum	India	22	13	34	
Kedelai	USA	82	18	38	
Gula Bit	China	4,8	1,4	9,3	
Tebu	China	1,8	0,36	2,1	
Bunga Matahari	Argentina	40	25	35	5,0
Tembakau	China	39	12	71	
Tomat	India	2,8	1,3	3,8	
Gandum, musim semi	USA	37	13	26	
Gandum, musim dingin	USA	32	11	33	

* Total serapan hara mengacu pada kuantitas akumulasi hara di bagian atas tanah, dan bagian yang dipanen, pada tanaman saat sampling, biasanya kematangan fisiologis atau ketika serapan berada pada kondisi maksimum.

** Laporan koefisien serapan hara dapat bervariasi regional tergantung pada kondisi pertumbuhan. Gunakan data lokal bila memungkinkan.

*** BK = Bobot Kering; selain itu kadar air adalah standar konvensi pemasaran atau seperti yang dinyatakan.

Perubahan data terakhir Mei 2014, IPNI memberikan data terkini untuk data penyerapan dan kehilangan hara di <http://info.ipni.net/IPNI-3296>

Tanaman membutuhkan hara-hara yang jumlahnya berbeda. Secara umum, yang dibutuhkan paling banyak adalah makronutrien. Pada tanah di iklim sedang, makronutrien primer (N, P dan K) lebih sering membatasi hasil tanam daripada yang sekunder (Ca, Mg dan S). Perbedaan antara primer dan sekunder tidak berlaku untuk lahan tropis. Total hara yang dibutuhkan untuk tanaman tertentu dapat dihitung dengan mengalikan target hasil dengan koefisien yang sesuai pada **Tabel 4.1**. Mikronutrien biasanya dibutuhkan pada jumlah yang lebih sedikit.

Semakin banyak hasilnya, semakin besar hara yang diperlukan. Tantangannya terletak pada penentuan target produksi untuk pemupukan. Beberapa petunjuk yang berguna:

- ◆ Tujuan haruslah masuk akal dan menantang.
- ◆ Pendekatan yang umum untuk tujuan yang realistis adalah 80% dari potensi yang ada (tanpa batas penggunaan air dan hara) terhadap tanaman di kondisi iklim tertentu. Simulasi model tanaman dapat membantu menentukan potensi hasil.
- ◆ Jumlah yang berada di antara batas atas hasil rata-rata dan jumlah maksimum hasil yang dicapai baru-baru ini pada lahan yang sama, atau salah satu produksi dan sejarah pengelolaan, dapat digunakan sebagai target hasil.
- ◆ Menentukan target 10% di atas hasil rata-rata selama 3-5 tahun terakhir, apabila tidak ada kehilangan yang signifikan karena kekeringan, curah hujan berlebih atau hama, juga merupakan metode yang umum digunakan. Metode ini memerlukan catatan data setiap lahan, dan hanya dari lahan yang memiliki potensi hasil yang mirip yang dapat digunakan dalam menentukan estimasi.
- ◆ Target hasil yang dipupuk tidak berarti membatasi hasil akhirnya pada tingkat tersebut. Cuaca yang tidak cocok dapat menyebabkan hasil yang tidak seperti biasanya, dapat juga menyebabkan pelepasan hara yang berlimpah dari tanah atau penggunaan hara yang sangat efisien yang tidak seperti biasanya.

Salah satu tantangan dalam menggunakan pendekatan hasil untuk menentukan dosis pupuk adalah tingkat produksi yang terlalu beragam pada lingkungan yang ada dari tahun ke tahun, serta diantara musim tanam pada tahun yang sama dimana beberapa jenis tanaman berbeda ditanam. Tingkat responsif (tanggap) tanaman terhadap pupuk juga berfluktuasi, sebagai akibat dari lingkungan, tanpa adanya hubungan dengan potensi produksi. Potensi hasil dan tingkat responsif tanaman mempengaruhi tingkat kebutuhan pupuk setiap tahunnya. Faktor lain yang sering dipertimbangkan sejalan dengan potensi hasil untuk mengestimasi kebutuhan hara tanaman adalah sistem pertanaman, produktivitas tanah dan rasio pupuk terhadap harga tanaman. Penghitungan dan model yang memprediksi hasil tanaman dan penyerapan hara juga digunakan untuk memperhalus perhitungan rekomendasi jumlah N.

Pertanyaan



1. Salah satu dari tujuh prinsip-prinsip ilmiah inti yang menentukan **dosis yang tepat** untuk satu spesifik set dari kondisi ini adalah untuk
 - a. menilai semua sumber hara yang ada.
 - b. mengasumsikan penggunaan pupuk secara efisien.
 - c. menempatkan kebanyakan penekanan pada ekonomi.
 - d. memberikan banyak sesuai ekspektasi permintaan.
2. Makronutrien primer disebut primer karena
 - a. mengambil semua elemen jumlah paling besar.
 - b. membatasi hasil panen lebih sering dari pada yang sekunder.
 - c. adalah hara tanaman yang pertama ditemukan.
 - d. lebih mahal dari yang sekunder.
3. Pada Hukum Liebig, keadaan minimum panen akan ditentukan oleh
 - a. N, P, dan K.
 - b. Ca, Mg, dan S.
 - c. Mikronutrien.
 - d. elemen yang muncul pada jumlah yang paling terbatas.
4. Penilaian permintaan tanaman melibatkan pemilihan target produksi yang realistis karena
 - a. penyerapan hara proporsional terhadap hasil panen.
 - b. hasil panen tidak dapat melebihi target panen yang sudah ditentukan.
 - c. jumlah yang diberikan sesuai dengan penyerapan hara.
 - d. cuaca menjadikan pengecualian produksi mengurangi efisiensi penggunaan hara.

4.2 Menilai Penyediaan Hara Tanah

Sebagian dari kebutuhan hara tanaman dapat dipenuhi oleh tanah. Kapasitas tanah untuk menyediakan hara yang berguna bagi pertumbuhan tanaman bergantung kepada beberapa mekanisme, termasuk:

- ◆ Mineralisasi dan imobilisasi hara dari dan ke bahan organik tanah.
- ◆ Adsorpsi dan desorpsi hara dari dan ke tanah.
- ◆ Curah hujan dan reaksi peleburan yang mengatur kadar hara pada larutan tanah.

Tabel 4.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan mineral tanah*

Faktor	N	P	K	S	Ca dan Mg	Mikro
pH Tanah	X	X	X	X	X	X
Kelembaban	X	X	X	X	X	X
Suhu	X	X	X	X	X	X
Aerasi	X	X	X	X	X	X
Bahan organik tanah	X	X		X	X	X
Jumlah liat	X	X	X	X	X	X
Jenis liat		X	X		X	X
Sisa tanaman	X	X	X	X	X	X
Pemadatan Tanah		X	X			
Status hara tanah		X	X		X	
Hara lainnya		X	X		X	X
Jenis tanaman	X	X		X		X
Kapasitas Tukar Kation (KTK)			X		X	X
% Kejenuhan KTK					X	

* Tabel ini menyajikan daftar yang tidak selesai dari faktor-faktor dan hanya ditujukan untuk memberikan contoh sebagian besar faktor dan kesamaan hara-hara.

- ◆ Reaksi reduksi/oksidasi yang mengubah sifat dan daya larut hara multivalen.
- ◆ Intersepsi akar, aliran masa dan difusi hara dalam larutan untuk diserap oleh akar tanaman.

Bahan organik tanah mengandung sebagian besar hara yang dibutuhkan bagi pertumbuhan tanaman. Banyak dari hara ini hanya tersedia dalam jumlah sedikit, namun pada sistem pertanaman bahan organik tanah dapat menjadi sumber utama hara terutama N dan S. Jumlah bahan organik yang dimineralisasi menjadi hara yang tersedia bagi tanaman bergantung kepada jumlah dan jenis bahan organik, serta kondisi yang mendukung proses penguraian oleh mikroba. Faktor-faktor inilah yang mempersulit prediksi jumlah hara yang tersedia bagi tanaman pada saat musim tanam.

Kelima mekanisme tersebut di atas, yang menentukan jumlah hara dalam tanah, dipengaruhi oleh karakteristik fisik seperti tekstur dan tipe liat dan jumlah liat; karakteristik kimiawi seperti pH, dan kondisi iklim termasuk suhu, kelembaban, dan aerasi. **Tabel 4.2** menyajikan daftar faktor yang mempengaruhi beragam hara yang tersedia bagi tanaman.

Cara terbaik menentukan kontribusi tanah pada hara tanaman adalah dengan uji tanah. Informasi lebih lanjut mengenai hal ini dapat ditemukan dalam Bab 8. Meskipun efektif untuk menentukan dosis pupuk yang dibutuhkan, namun ujian ini tidak selalu tersedia dan praktis di beberapa daerah karena keterbatasan infrastruktur. Ujian ini juga tidak selalu dapat diandalkan untuk perkiraan ketersediaan dari beberapa hara yang mobil seperti N dan S pada daerah lembab dan curah hujan tinggi. Pada kondisi tersebut, percobaan respon tanaman pada percobaan petak omisi dapat digunakan sebagai indikator kadar hara tanah. Hasil sebuah petak dimana hara tertentu dihilangkan (dengan pemberian hara lainnya yang dibutuhkan) memberikan perkiraan tidak langsung tentang kapasitas hara yang dapat disediakan oleh tanah, sementara perbedaan hasil antara petak yang dipupuk secara maksimal dan petak omisi memberikan gambaran potensi pada penambahan hara yang dipertanyakan.

4.3 Menilai Semua Sumber Hara yang Tersedia

Dalam menentukan dosis pemupukan yang tepat, kontribusi menuju pemenuhan hara tanaman dari semua sumber hara perlu dipertimbangkan. Sebagian dari sumber ini termasuk penyediaan hara lokal (yang tidak diaplikasikan pada tanah seperti sisa tanam dan pupuk hijau), pupuk kandang, kompos, limbah padat, pemindahan dari atmosfer dan irigasi. Jumlah dan ketersediaan hara dari sumber ini sangat bervariasi dan dapat menjadi sulit untuk diprediksi; namun demikian, upaya harus dilakukan untuk menghitungnya. Kandungan hara rata-rata untuk beberapa pupuk kandang dapat dilihat pada **Tabel 4.3**; variasi sangat besar tergantung daerah dan kebun, dan secara umum lebih baik menggunakan hitungan dan analisa laboratorium terhadap bahan yang sesuai dengan kondisi lokal.

Fiksasi simbiotik N pada tanaman legum diperhitungkan sebagai salah satu sumber terpenting N lokal di tanah. Banyak pedoman pengelolaan hara yang menggunakan pengaturan dosis N untuk tanaman dengan rotasi tanaman legum. Namun demikian, jumlah fiksasi N dan ketersediaan N bagi tanaman berikutnya sangat bervariasi bergantung pada banyak faktor. Estimasi kisaran fiksasi N tahunan dari berbagai legum dapat dilihat pada **Tabel 4.4**. Sementara keberadaan legum dapat mempengaruhi dosis N untuk tanaman berikutnya, pertumbuhan tanaman legum termasuk nodulasi, produksi dan sisa N, sangat bergantung kepada pemupukan dengan hara lainnya, terutama P dan K.

Sisa tanaman memiliki jumlah hara yang cukup banyak. Mendaur ulang sisa tanaman tersebut dalam tanah

Tabel 4.3 Perkiraan Komposisi Bobot Kering dan Hara dari Kotoran Hewan Terpilih (Dari Havlin et al., 2005)

Hara, kg/tonne						
Jenis Hewan	Sistem Penanganan Limbah	Bobot Kering, %	N		P ₂ O ₅	K ₂ O
			Tersedia*	Total†		
Sistem Penanganan Kotoran Padat						
Babi	Tanpa kandang	18	3	5	4,5	4
	Dengan kandang	18	2,5	4	3,5	3,5
Sapi Pedaging	Tanpa kandang	15	2	5,5	3,5	5
	Dengan kandang	50	4	10,5	9	13
Sapi Perah	Tanpa kandang	18	2	4,5	2	5
	Dengan kandang	21	2,5	4,5	2	5
Ternak Unggas	Tanpa pengumpulan kotoran	45	13	16,5	23	17
	Dengan pengumpulan kotoran	75	18	28	22,5	17
	Selokan dalam	76	22	34	32	22,5
Sistem Penanganan Kotoran Cair						
Babi	Selokan cairan	4	10	18	13,5	9,5
	Parit oksidasi	2,5	6	12	13,5	9,5
	Danau	1	1,5	2	1	0,2
Sapi Pedaging	Selokan cairan	11	12	20	13,5	17
	Parit oksidasi	3	8	14	9	14,5
Sapi Perah	Danau	1	1	2	4,5	2,5
	Selokan cairan	8	6	12	9	14,5
Peternakan Unggas	Danau	1	1,2	2	2	2,5
	Selokan cairan	13	32	40	18	48

* Terutama NH₄⁺-N, yang tersedia di tanah pada musim tanam.

† NH₄⁺-N dan N organik, dengan pelepasan yang lambat.

Sumber: Sutton et al., 1985, Univ. of Minn. Ext. Bull. AG-FO-2613

Pertanyaan



5. Alat terbaik untuk menilai penyediaan hara pada tanah adalah uji tanah karena
 - a. ujian tanah yang dapat diandalkan tersedia di seluruh dunia.
 - b. ujian tanah efektif dapat menentukan dosis pupuk yang tepat.
 - c. ujian yang dapat diandalkan untuk N tersedia untuk daerah dengan curah hujan tinggi.
 - d. ujian tanah memprediksi perakaran tanaman berkaitan dengan hara.
6. Sumber hara lokal termasuk
 - a. limbah padat.
 - b. kompos.
 - c. sisa tanaman.
 - d. air irigasi.
7. Simbiosis fiksasi N adalah sumber N lokal bagi tanah karena
 - a. mikroba pada tanah memfiksasi N untuk semua tanaman.
 - b. kacang-kacangan dapat memfiksasi N dalam jumlah besar.
 - c. kacang-kacangan dapat memfiksasi P dan K dalam jumlah besar.
 - d. tanaman setelah kacang-kacangan membutuhkan N lebih banyak.

dapat berkontribusi pada ketersediaan hara lokal. Di lain pihak memanen sisa tanaman dapat meningkatkan pengambilan hara dari tanah, terutama K, dan harus dipertimbangkan sebagai hal negatif dalam keseimbangan hara. Selain berkontribusi mewariskan hara tanah, daur ulang sisa tanaman juga memperbaiki total karbon organik, kelembaban tanah, suhu, struktur tanah dan membantu pencegahan erosi. Jumlah rata-rata hara yang hilang bersama jerami dan daun dari beberapa tanaman dapat dilihat pada **Tabel 4.5**. Jumlah hara yang hilang (terambil dari tanah) bervariasi bergantung pada jumlah curah hujan dan cuaca, dan juga faktor lain seperti tinggi potongan pada tanaman.

Tanaman penutup tanah bervariasi (kebanyakan adalah rumput dan legum) yang ditanam di antara tanaman utama atau di antara barisan pada kebun buah dan anggur. Tanaman jenis ini dapat mengurangi erosi, mengurangi pencucian nitrat dan berkontribusi pada bahan organik dan hara tanaman berikutnya ketika mereka mengurai. Tanaman legum dapat memberikan tambahan N melalui fiksasi

biologis. Jumlah N yang ada bergantung pada banyak faktor, namun karena akumulasi dan jangka waktu tumbuh pada tanaman jenis ini biasanya lebih pendek daripada tanaman utama, maka jumlah N yang muncul akan lebih rendah daripada yang ditunjukkan pada **Tabel 4.4**.

Kontribusi hara kepada tanaman dari sumber lokal sangat bervariasi dan pedoman lokal seharusnya dipergunakan apabila ada untuk penyesuaian rekomendasi dosis pupuk.

Tabel 4.4 Rentang perkiraan fiksasi tahunan N oleh berbagai tanaman kacang-kacangan

Legum	Fiksasi N, kg/ha/th
Alfalfa	150-250
Clover	100-150
Vetch	50-150
Kedelai	50-150
Biji kering	30-50
Field Pea	3-250
Lentils	3-190
Kacang Tanah	35-200

Nilai yang dilaporkan adalah rata-rata dari beberapa sumber. Perkiraan lokal harus digunakan untuk menentukan dosis aplikasi.

4.4 Memperkirakan Efisiensi Penggunaan Pupuk

Efisiensi penggunaan pupuk (*fertilizer use efficiency, FUE*) adalah faktor utama untuk menentukan dosis pupuk. Penggunaan hara secara efisien dibahas lebih dalam di Bab 9. Dosis rekomendasi biasanya membuat asumsi tersirat tentang FUE atau terlihat pada kalkulasi rekomendasi. Bahkan dengan pengelolaan yang tepat berdasarkan Penataan Hara 4T, jumlah yang digunakan akan tetap kurang dari 100%. Ketika petani berusaha mengurangi kehilangan dan meningkatkan efisiensi, hara ternyata juga digunakan oleh organisme yang ada di dalam tanah terutama pada pembentukan bahan organik tanah. Efisiensi penyerapan pupuk juga sering dipengaruhi oleh gangguan penyerapan dan mekanisme yang terjadi pada setiap lahan. FUE juga akan berbeda bergantung pada faktor spesifik lokasi, termasuk cuaca, jenis tanah dan sistem pertanaman. Maka dari itu, penyesuaian untuk efisiensi harus diikutsertakan dalam menentukan dosis pupuk. Tujuan utama Penataan Hara 4T adalah untuk menggunakan cara penerapan yang memasukkan tepat sumber, tepat waktu dan tepat tempat dalam sistem pertanaman untuk menghasilkan FUE yang tinggi.

Salah satu metode menghitung FUE yang berguna dalam penentuan kebutuhan dosis hara adalah efisiensi agronomi

(*agronomic efficiency*, *AE*), yaitu peningkatan jumlah produksi pada setiap jumlah penggunaan pupuk. Jika unit yang sama digunakan untuk menaikkan jumlah produksi dan dosis pupuk, persamaan menjadi perbandingan unit-dosis-kurang, maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$AE = (Y - Y_0) / F$$

- Dimana:
- 1) Y adalah produksi dengan penggunaan pupuk dengan hara;
 - 2) Y_0 adalah produksi tanpa penambahan hara yang dipertanyakan;
 - 3) F adalah jumlah pupuk dengan hara yang digunakan.

Kisaran umum AE: 10-25; >20 pada sistem yang telah dikelola dengan baik, dengan hara yang rendah atau hara tanah yang tidak memadai.

Dianggap sebuah pertanaman dengan pencapaian produksi 9.500 unit. Studi pada plot pengabaian (omisi) menunjukkan bahwa AE untuk N (AE_N) pada lokasi tersebut adalah 20 (peningkatan 20 unit biji-bijian pada aplikasi per unit N) dan harapan produksi plot omisi adalah 6.000 unit. Unit produksi dan unit pupuk harus sama (contoh, kg/ha biji-bijian dan kg/ha pupuk). Dosis pupuk dihitung sebagai berikut:

$$\text{Pupuk N} = (\text{produksi yang dicapai} - \text{produksi pada plot omisi}) / AE_N$$

Menggunakan angka diatas sebagai contoh, dosis N rekomendasi adalah:

$$\text{Pupuk N} = (9.500 - 6.000) / 20 = 175 \text{ unit}$$

Metode lainnya untuk menghitung FUE yang kadang-kadang digunakan dalam penentuan kebutuhan dosis hara adalah *recovery efficiency* (*RE*). *Recovery efficiency* adalah peningkatan penyerapan hara tanaman pada bagian tanaman di atas tanah (untuk kebanyakan tanaman) sebagai proporsi dari hara yang diaplikasikan. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$RE = (U - U_0) / F$$

- Dimana:
- 1) U adalah total penyerapan hara pada bagian tanaman di atas tanah dengan aplikasi hara;
 - 2) U_0 adalah total penyerapan hara pada bagian tanaman di atas tanah tanpa aplikasi hara;
 - 3) F adalah jumlah pupuk yang diaplikasikan.

Persamaan tersebut dapat disusun ulang agar memungkinkan menghitung dosis kebutuhan pupuk sebagai berikut:

$$F = (U - U_0) / RE.$$

Seperti pada contoh sebelumnya menggunakan AE, produksi pada plot omisi dapat digunakan tetapi dalam

hal ini produksi harus dikonversi menjadi penyerapan, normalnya menggunakan nilai penyerapan umum dari produksi tanaman seperti disajikan pada **Tabel 4.1**. Kisaran umum nilai RE kebun untuk aplikasi N pada sereal adalah 0,3 sampai 0,5 (30 sampai 50%). Dengan praktek manajemen terbaik, nilai dapat meningkat menjadi kisaran 0,5 sampai 0,8 (50 sampai 80%). Menggunakan produksi pada contoh AE, dengan asumsi 0,0215 penyerapan N per unit produksi dan RE adalah 0,50, dosis pupuk dihitung sebagai berikut:

$$\text{Pupuk N} + [(9.500 \times 0,0215) - (6.000 \times 0,0215)] / 0,50 = 150 \text{ unit}$$

4.5 Mempertimbangkan Dampak Sumberdaya Tanah

Hara tanaman mempengaruhi kualitas tanah dengan beberapa cara. Pertama, ketika hara tanaman ada pada tingkat yang mengoptimasi pertumbuhan, jumlah kontribusi karbon organik dari tanaman ke tanah lebih besar daripada ketika pertumbuhan tanaman dibatasi oleh hara yang ada. Kontribusi karbon yang lebih besar membantu menjaga, membangun atau memperlambat penipisan bahan organik tanah, yang merupakan kunci dalam memelihara struktur tanah. Pada gilirannya, ini mempengaruhi kapasitas tanah memegang air dan sifat-sifat lain yang penting bagi pertumbuhan tanaman. Kedua, banyak hara yang ditahan di dalam tanah dan jumlah penambahan hara tersebut mempengaruhi kandungan yang ada di tanah dari waktu ke waktu.

Hara yang tertinggal di dalam tanah, termasuk P dan K, yang dilaporkan pada uji tanah (lihat Bab 8 untuk informasi lebih lanjut tentang uji tanah). Ketika jumlah hara tanah rendah, maka dibutuhkan tambahan hara yang lebih banyak daripada yang diserap oleh tanaman untuk mencapai hasil yang maksimal. Jika hara tanah dalam jumlah yang banyak, maka jumlah yang lebih sedikit dari yang hilang bersama panen dapat mencukupi. Ketika jumlahnya tepat seperti yang diharapkan, maka dosisnya dapat dijaga dengan menambahkan jumlah hara sesuai dengan jumlah yang hilang bersama panen. **Tabel 4.5** menyajikan koefisien penyerapan hara pada beberapa tanaman. Meskipun pada **Tabel 4.5** tercantum jumlah pada umumnya, nilai aktual dapat bervariasi seperti yang diilustrasikan di **Tabel 4.6**. Untuk itu, gunakan data lokal jika memungkinkan.

Beberapa tanah membutuhkan tambahan atau kurang dari yang hilang bersama tanaman untuk menjaga kadar uji tanah yang diinginkan. Contohnya adalah tanah yang memiliki jumlah P atau K tetap, baik melalui serapan, pengendapan kimiawi atau terjebak diantara lapisan liat. Tanah lain mungkin mengalami mineralisasi bersih P atau K dari mineral tanah, atau bagian organik. Untuk itu, uji tanah direkomendasikan setiap 3 sampai 5 tahun sekali, memeriksa P dan K untuk melihat apakah kondisi tanah sudah sesuai dengan kadar yang diinginkan. Uji tanah membantu menentukan apakah jumlah tambahan hara harus lebih banyak, sama dengan atau kurang dari hara yang hilang bersama panen.

Tabel 4.5 Hara yang terserap* dari beberapa tanaman

Tanaman***	Penyerapan, kg/t**			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Alfalfa (BK)	26	6,0	25	2,7
Alsike Clover (BK)	21	5,5	27	1,5
Bahiagrass	22	6,0	18	
Biji Barley	21	8,3	6,7	1,9
Jerami Barley per t biji	8,3	3,3	25	2,1
Jerami Barley	6,5	2,6	20	1,5
Kacang polong (kering)	50	13	15	8,7
Bermuda grass	23	6,0	25	
Birdsfoot trefoil (BK)	23	5,5	21	
Bluegrass (BK)	15	6,0	23	2,5
Bromegrass (BK)	16	5,0	23	2,5
Buckwheat	17	5,0	4,4	
Biji Kanola	32	16	8,0	5,0
Biji Jagung	12	6,3	4,5	1,4
Jagung silase (67% air) per t biji	29	9,1	21	3,2
Jagung silase (67% air)	4,9	1,6	3,7	0,55
Jagung, batang & daun per t biji	8,0	2,9	20	1,3
Jagung, batang & daun	8,0	2,9	20	1,3
Kapas (serat)	64	28	38	
Kapas, batang & daun	9,4	3,3	11	
Fescue (BK)	19	6,0	27	2,9
Biji Flaks	45	13	11	3,4
Jerami Flaks	13	2,9	39	2,7
Biji Milet	28	8,0	8,0	1,6
Jerami Milet	7,7	2,2	20	
Minyak Mint	1900	1100	4500	
Biji Oat	24	8,8	5,9	2,2
Jerami Oat per t biji	9,7	5,0	29	3,4
Jerami Oat	6,0	3,2	19	2,3
Orchardgrass (BK)	18	6,5	27	2,9
Biji Kacang Tanah	35	5,5	8,5	
Kacang Tanah, batang & daun	16	3,4	12	
Umbi Kentang	3,0	1,5	6,5	0,3
Kentang, batang di atas tanah dan daun	1,9	0,6	5,3	0,2
Red Clover (BK)	23	6,0	21	1,5
Reed Canarygrass (BK)	15	6,6	13	
Biji Padi	13	6,7	3,6	
Jerami Padi	8,3	2,7	21	
Biji Rye	25	8,2	5,5	1,8
Jerami Rye per t biji	14	3,8	27	2,5
Jerami Rye	6,0	1,5	11	1,0
Ryegrass (BK)	22	6,0	22	
Biji Sorgum	13	7,8	5,4	1,2

Tanaman***	Penyerapan, kg/t**			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Sorgum, batang & daun per t biji	11	3,2	17	2,4
Sorgum, batang & daun	14	4,2	21	3,0
Sorghum-sudan (BK)	15	4,8	17	2,9
Biji Kedelai	55	12	20	3,0
Jerami Kedelai (BK)	23	5,5	13	2,5
Kedelai, batang & daun per t biji	18	4,0	17	2,8
Kedelai, batang & daun	20	4,4	19	3,1
Gula bit akar	1,9	1,1	3,7	0,23
Gula bit atas	3,7	2,0	10	0,20
Tebu	1,0	0,65	1,8	
Biji Bunga Matahari	27	9,7	9,0	2,5
Bunga Matahari, batang & daun per t biji	28	2,4	41	6,0
Bunga Matahari, batang & daun	12	1,0	17	2,5
Switchgrass (BK)	11	6,0	29	
Timothy (BK)	13	5,5	21	1,0
Tomat	1,3	0,46	2,9	
Daun Tembakau	36	9,0	57	6,0
Vetch (BK)	29	7,5	25	
Jerami Gandum per t biji	12	2,7	20	2,3
Jerami Gandum	7,6	1,9	15	2,7
Biji Gandum (musim semi)	25	9,5	5,5	1,7
Biji Gandum (musim dingin)	19	8,0	4,8	1,7

* Total hara yang hilang mengacu pada kuantitas akumulasi hara yang hilang pada saat panen.

** Laporan koefisien hara yang hilang dapat bervariasi pada setiap wilayah tergantung pada kondisi pertumbuhan. Gunakan data lokal bila memungkinkan.

*** BK = Bobot Kering; selain itu kadar air adalah standar konvensi pemasaran atau seperti yang dinyatakan.

Perubahan data terakhir Mei 2014, IPNI memberikan pembaharuan terakhir untuk data penyerapan dan kehilangan hara di <http://info.ipni.net/IPNI-3296>

Contoh: Gunakan Tabel 4.5, contoh hara seimbang adalah 10t/ha jagung menghilangkan 63 kg P₂O₅ dari tanah (10 x 6,3 = 63). Jadi untuk pemeliharaan, aplikasi P₂O₅ adalah 63 kg.

Tabel 4.6 Variasi penyerapan hara di bagian panen jagung, kedelai dan gandum di Missouri, Amerika Serikat (Nathan, 2011)

	Penyerapan, kg/t								
	Jagung			Kedelai			Gandum		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Rata-rata	12	6.2	4.5	46.8	11.5	18.5	18.5	8.0	5.2
Median	12	6.1	4.3	45.7	11.7	18.7	18.7	8.2	5.0
Minimum	7.0	4.1	2.1	32.8	7.0	12.3	12.2	5.0	3.3
Maksimum	17.3	10.4	7.7	61.8	14.8	22.3	25.2	11.0	7.8
CV, %	13.0	17.1	23.4	11.8	14.1	10.6	14.4	13.3	17.5
Jumlah	511	509	512	269	270	267	177	179	174

Contoh gandum yang dikumpulkan dari berbagai daerah (county) di seluruh negeri selama 3 tahun. Dua pertiga dari contoh ada pada lebih dan kurang satu CV dari rata-rata.

4.6 Mempertimbangkan Keekonomian Dosis-spesifik

Tingkat hara yang optimal secara ekonomi (EONR – *economic optimum nutrient rate*) menentukan jumlah hara yang menghasilkan keuntungan terbesar dari pengaplikasiannya pada tanaman. Dosis ini biasanya lebih rendah dari dosis hara optimal secara agronomi (AONR – *agronomic optimum nutrient rate*), yang merupakan dosis terendah yang dapat menghasilkan panen terbesar dan akan menurun jika biaya bertambah sementara harga hasil panen stabil. Sebaliknya, jika harga komoditi naik dan pengeluaran stabil, EONR akan mendekati AONR. Sering fluktuasi harga produksi dan harga pupuk terjadi bersamaan, dengan rasio antara masukan dan keluaran yang sama tanpa mempengaruhi EONR.

Tujuan untuk mencapai EONR, adalah pendekatan yang umumnya digunakan terhadap hara N dan S yang mobil pada tanah dan tidak disimpan dari tahun ke tahun. Untuk hara yang tersimpan dalam tanah, termasuk P dan K, keuntungan pengaplikasian hara adalah jangka panjang di alam, sehingga biayanya dapat dilunasi dalam beberapa tahun. Untuk kesuburan tanah, aplikasi biasanya lebih tinggi dari EONR dalam satu tahun, namun pada jangka panjang dapat menjadi lebih ekonomis, terutama jika respon pada tahun-tahun selanjutnya juga dihitung.

Keuntungan membangun kesuburan tanah pada kisaran optimum termasuk fleksibilitas yang lebih besar dalam memilih sumber, tingkat, waktu dan penempatan. Tingginya fleksibilitas memberikan keuntungan bagi petani untuk memanfaatkan kondisi pasar dan fluktuasi harga pupuk. Rasio harga yang tinggi (biaya lebih tinggi dibandingkan dengan harga hasil panen) menaikkan nilai menggunakan praktek manajemen untuk memutuskan jumlah pupuk yang dibutuhkan untuk mengoptimasi hasil panen dan keuntungan. Rasio harga lebih murah (biaya input rendah dibandingkan harga jual hasil panen) seringkali berakibat pada resiko (terhadap keuntungan) yang lebih rendah, namun resiko lingkungan yang lebih besar karena aplikasi hara yang berlebihan. Lihat **Seksi 8.5** untuk detail.

Pada skenario ekonomi apapun, manajemen resiko terbaik didapatkan dengan mengikuti prinsip sains untuk memilih dosis pupuk yang tepat. 📌

Pertanyaan



8. Jika penelitian hara petak omisi dijalankan, dan Y adalah 9.000 kg/ha, Y_0 adalah 7.500 kg/ha dan AE_N adalah 15, berapa dosis N yang direkomendasikan bagi tanaman yang sama kondisi tanahnya, dalam kg/ha?
 - a. 50.
 - b. 100.
 - c. 150.
 - d. 200.
9. Efisiensi pemulihan secara umum pupuk N yang diterapkan untuk sereal adalah
 - a. 10 sampai 25%.
 - b. >20% pada sistem yang dikelola dengan baik.
 - c. 30 sampai 50%.
 - d. 50 sampai 80%.
10. Dalam jangka panjang, tingkat hara yang tersedia dipertahankan pada tingkat optimal di sebagian besar tanah ketika sejumlah hara yang diterapkan
 - a. lebih besar dari penyerapan.
 - b. kurang dari penyerapan tanaman.
 - c. sama dengan penyerapan tanaman.
 - d. sama dengan penyerapan.

PUSTAKA

- IPNI. 2005. Nutrients Removed in Harvested Portion of Crop. Norcross, GA. [On-line].
- Havlin, J.L. et al. 2005. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th edition. Pearson Prentice Hall. NJ, USA.
- Ladha, J.K. et al. 2005. Advances in Agronomy 87: 85-176.
- Nathan, M. 2011. Improving accuracy of nutrient removal estimates status report. University of Missouri, Colombia.

Modul 4.1-1 Pupuk nitrogen dibutuhkan oleh gandum dan jagung di Argentina sebaiknya ditentukan sebelum penanaman.

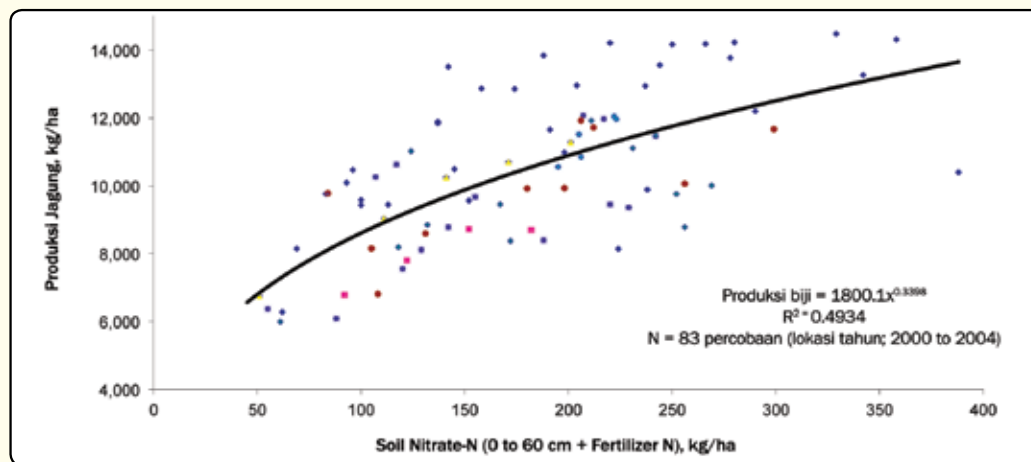
Faktanya, evaluasi N yang tersedia (inorganik) pada masa tanam telah menjadi alat yang berguna untuk menentukan kebutuhan pupuk N di daerah agak lembab dan semi-kering di seluruh dunia. Pada beberapa tempat tertentu, jumlah kebutuhan N pada saat penanaman, dengan tidak adanya respon pupuk N, diharapkan tetap dapat diperkirakan. Metode ini telah dikalibrasi dan berhasil di beberapa daerah Pampas di Argentina untuk jagung dan gandum. Dosis pupuk nitrogen (Nf) diperkirakan dari perbedaan antara level NREQ dan jumlah NO₃-N, yang ditentukan sebelum penanaman: $Nf = NREQ - X$,

Dimana: Nf adalah jumlah pupuk N yang diaplikasikan,
 NREQ adalah N tanah ditambah pupuk N yang diperlukan,
 X adalah jumlah NO₃-N di kedalaman tanah 0-60 cm.

Pada **Gambar 1**, jika ujian tanah pada penanaman menunjukkan ketersediaan 70 kg/ha NO₃-N, estimasi hasil panen adalah 7.700 kg/ha. Jadi, jika hasil yang didapatkan pada lahan tertentu adalah 10.000 kg/ha, ketersediaan N NREQ sebanyak 150 kg/ha harus tercapai, dan dosis N pupuk N yang direkomendasikan adalah 80 kg/ha.

Tingkat NREQ untuk jagung dan gandum, menurut prediksi hasil untuk area dengan tanah dan iklim yang berbeda dapat dilihat di **Tabel 1**.

Sumber: Bianchini A., F. Garcia, and R. Melchiori. 2008. *In* J. Hatfield and R. Follet (Eds.). Nitrogen in the environment: Sources, problems, and management. Elsevier - Academic Press, San Diego, CA. USA pp 105-124.



Gambar 1. Hubungan antara N tanah tersedia N (NO₃-N) dan produksi butir jagung untuk 83 percobaan lapangan dari 8 situs (tahun 2000 sampai 2004) di Pampas tengah

Tabel 1. Produksi yang diharapkan dikaitkan dengan kebutuhan N untuk areal yang berbeda

Areal	Tingkat NREQ (NO ₃ -N, 0-60 cm)	Produksi yang diharapkan	Pustaka
----- kg/ha -----			
<i>Gandum</i>			
Buenos Aires Tenggara	125	3.500	González Montaner et al., 1991
Buenos Aires Tenggara	175	5.000-5.500	González Montaner et al., 2003
Santa Fe Tengah dan Selatan	92	3.500-4.000	Salvagiotti et al., 2004
Santa Fe Selatan dan Córdoba	100-150	3.200-4.400	García et al., 2006
<i>Jagung</i>			
Buenos Aires Utara	150	9.000	Ruiz et al., 2001
Buenos Aires Utara	150-170	10.000	Alvarez et al., 2003
Santa Fe Tengah dan Selatan	135 162	< 9.500 > 9.500	Salvagiotti et al., 2004
Santa Fe Selatan dan Córdoba	150-200	10.000-11.000	Nutrition network CREA Southern Santa Fe, 2009

Disampaikan oleh F. Garcia, IPNI, Argentina, September 2011.

Modul 4.1-2 Menghitung dosis pupuk pada tanaman sereal menggunakan data petak pengabaian. Hara data petak digunakan untuk menghitung dosis pupuk untuk sereal (padi, gandum, jagung) menggunakan informasi pada produksi biji yang diperoleh pada plot dengan hara yang dihilangkan dan pada tingkat yang cukup. Hara lainnya diaplikasikan untuk memastikan tidak menjadi pembatas produksi. Hasil dari plot petak omisi/ pengabaian digunakan sebagai perkiraan tidak langsung dari kapasitas penyediaan hara dari nutrisi yang dihilangkan. Perbedaan hasil biji antara petak omisi dan yang dipupuk pada tingkat yang cukup dapat digunakan untuk memperkirakan dosis pupuk yang dibutuhkan untuk berbagai target hasil panen.

Tabel 1. Hasil eksperimen petak omisi pada gandum di musim dingin dari India

Perlakuan	Produksi, kg/ha
1. Dosis cukup N, P, and K	5.556
2. N dihilangkan, dosis cukup P dan K	1.667

Karena dosis N yang diaplikasikan pada petak “cukup” pada **Tabel 1** adalah 150 kg/ha, efisiensi agronomi (AE_N) pada petak ini adalah $(5.556 - 1.667)/150$ atau 26 kg biji per kg pupuk N.

Jika diasumsikan pada tanah yang sama, penyediaan N dan level efisiensi yang sama (26kg/kg), untuk lahan yang lainnya di area, **Tabel 2** menunjukkan hasil yang direkomendasikan bagi hasil target yang berbeda (misalnya lahan #1 dan #2). Jika petak omisi di daerah memiliki tanaman yang berbeda sebelumnya, dilakukan dan memberikan hasil seperti pada lahan #3 di bawah ini, informasi itu juga dapat digunakan dalam perhitungan dosis.

Tabel 2. Penghitungan dosis untuk tiga contoh kebun gandum musim dingin

Kebun #	Target Produksi, kg/ha	Produksi Plot penghilangan, kg/ha	Perhitungan dosis N, kg/ha
1	6.500	1.667	$(6.500 - 1.667)/26 = 186$
2	4.500	1.667	$(4.500 - 1.667)/26 = 109$
3	6.500	2.500	$(6.500 - 2.500)/26 = 154$

Dibandingkan dengan nilai yang didapatkan setelah beberapa kali percobaan, AE_N yang dihitung dari data pada Tabel 1 relatif tinggi (lihat bagian 4.4 dan **Tabel 3**). Rekomendasi yang paling akurat ketika kadar AE_N lokal pada lahan tertentu, hasil petak omisi dan target hasil dapat diperoleh.

Tabel 3. Rentang AE_N yang diamati untuk sereal dari percobaan agronomi pilihan di India

Tanaman	Hanya aplikasi N ¹	N dengan P dan K cukup ¹	Praktek Petani, Punjab ²	Manajemen hara spesifik-lokasi
Jagung	4-7	7-14	—	26-28 ³
Gandum	7-12	17-24	—	20-28 ³
Padi	7-12	14-23	8-10	22-34 ⁴

¹ Biswas, P.P. and P.D. Sharma. 2008. Indian J. Fert. 4(7):59-62.

² Khurana, H.S. et al., 2007. Agron J. 99:1436-1447.

³ IPNI Unpublished data, 2011.

⁴ Singh, B. et al. 2012. Field Crops Research 126:63-69.

Pendekatan penghilangan hara tampaknya dapat menjadi alternatif untuk pendekatan berbasis uji-tanah, di daerah dimana layanan analisis tanah yang dapat diandalkan tidak tersedia. Situasi ini terjadi di banyak negara berkembang.

Disampaikan oleh K. Majumdar, IPNI, India, Januari 2012.

M

Modul 4.6-1 Dosis nitrogen optimum ekonomis untuk kapas pada lempung liat berdebu di Alabama berubah sedikit dengan perubahan harga. Pada contoh ini, meskipun harga kapas dan N bervariasi secara nyata, biasanya perubahan terjadi bersamaan, menjaga rasio biaya terhadap harga konstan dan EONR relatif stabil. **Diadaptasi dari:** Snyder, C.S. and W.M. Stewart. 2005. Using the most profitable nitrogen rate in your cotton production system. [On-line].

Harga N (\$/kg)	Harga Kapas			
	\$ 1,15/kg	\$ 1,37/kg	\$ 1,58/kg	\$ 1,81/kg
	Dosis N optimum ekonomis, kg/ha			
1,10	91	94	96	99
1,21	88	92	95	97
1,32	87	91	93	96
1,43	85	88	92	95
1,54	83	86	91	94
1,65	81	85	90	93

Disampaikan oleh S. Phillips, IPNI, USA, September 2011.

Modul 4.6-2 Dosis pupuk nitrogen optimum secara ekonomis pada jagung bervariasi hanya sedikit pada kondisi pasar lebih dari periode 10 tahun. Di daerah barat-tengah dan barat laut dari Indiana, jumlah rata-rata yang dibutuhkan untuk menghapus keterbatasan N pada jagung berikut kedelai diperkirakan 192 kg N/ha. Dosis optimal ekonomis—didefinisikan sebagai dosis dimana kenaikan terakhir pupuk N menghasilkan produksi biji meningkat cukup besar untuk membiayai sendiri, bergantung pada rasio harga dan biasanya rendah.

Antara tahun 2000 dan 2009 rasio harga antara pupuk N dan biji jagung (diekspresikan dalam \$/t N dibagi \$/t biji) berada diantara 5 dan 10 (rasio lebih tinggi merefleksikan pupuk yang lebih mahal). Harga rekomendasi (kg/ha) pada kisaran rasio harga ini bervariasi seperti ditunjukkan pada tabel di bawah ini. **Diadaptasi dari:** Camberato et al. 2011. Nitrogen management guidelines for Indiana. [On-line].

Harga N/tonne	Harga biji, \$/tonne					
	\$110	\$130	\$150	\$170	\$190	\$210
\$440	181	183	184	185	185	186
\$660	177 [†]	178	180	181	183	183
\$880	171	175	177	178	179	180
\$1,100	167	170	173	175	177	178
\$1,320	162	166	169	171	174	175
\$1,540	156	162	166	168	170	172
\$1,760	152	158	162	165	168	170
\$1,980	148	153	158	162	165	167
\$2,200	142	149	155	159	162	165

[†] Nilai yang ditandai merupakan rekomendasi EONR (kg/ha) pada rasio harga (diekspresikan sebagai \$/t N dibagi \$/t gandum) antara 5 dan 10.

Disampaikan oleh S. Phillips, IPNI, USA, September 2011.

CATATAN



Bab 5

PRINSIP-PRINSIP ILMIAH PENDUKUNG TEPAT WAKTU

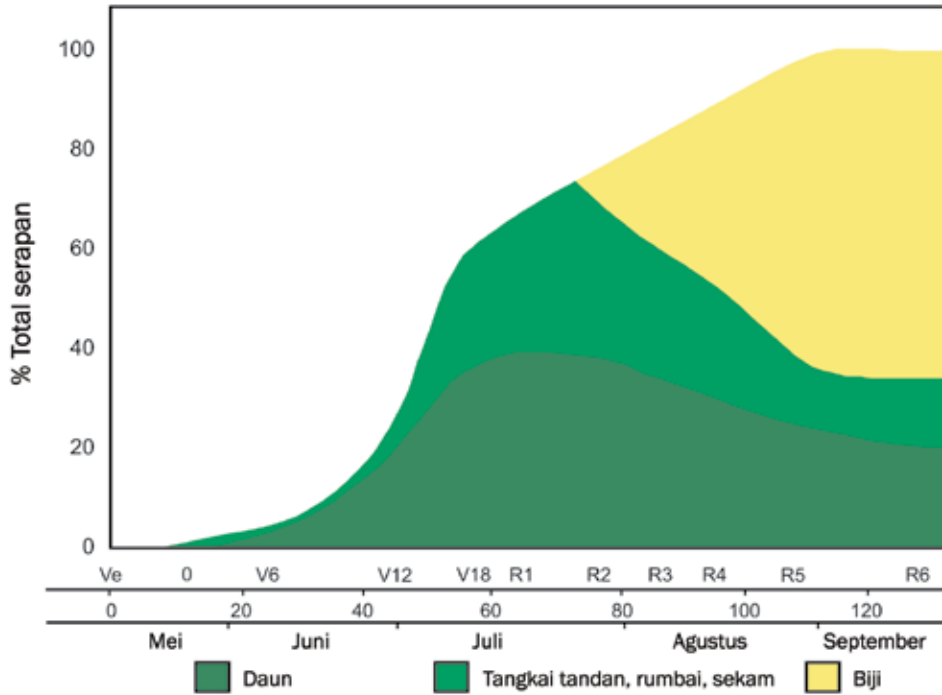
Inti dari prinsip ilmiah yang mendefinisikan waktu yang tepat untuk kondisi tertentu adalah sebagai berikut:

- ◆ **Mempertimbangkan sumber, dosis dan tempat aplikasi.**
- ◆ **Menilai waktu penyerapan tanaman.** Unsur hara harus diaplikasikan sesuai dengan musim kebutuhan unsur hara tanaman, yaitu bergantung pada tanggal penanaman, karakteristik pertumbuhan tanaman, sensitivitas tanaman terhadap defisiensi pada tingkatan pertumbuhan tertentu dan lain sebagainya.
- ◆ **Menilai dinamika pasokan hara tanah.** Mineralisasi bahan organik tanah menyediakan beberapa unsur hara dalam jumlah besar, tetapi jika kebutuhan penyerapan mendahului yang dilepaskan, maka defisiensi akan membatasi produktivitas.
- ◆ **Mengenali dinamika hilangnya unsur hara tanah.** Misalnya, pada daerah beriklim sedang, kehilangan karena pencucian cenderung lebih sering terjadi di musim semi dan musim gugur.
- ◆ **Mengevaluasi logistik pada operasi lapangan.** Misalnya, aplikasi unsur hara yang berulang mungkin atau tidak mungkin dapat dikombinasikan dengan produk perlindungan tanaman. Aplikasi unsur hara tidak boleh menunda kegiatan yang sensitif waktu seperti penanaman.

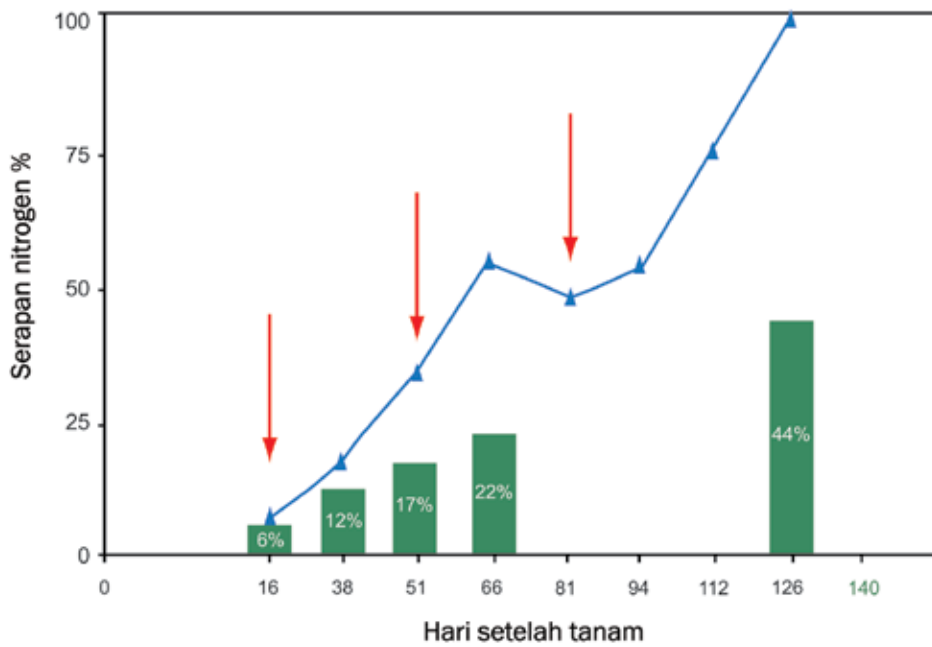
5.1 Menilai Waktu Penyerapan oleh Tanaman

Menilai dinamika dan pola serapan tanaman dapat menjadi komponen penting dalam menentukan waktu yang tepat untuk aplikasi unsur hara. Penyerapan unsur hara penting dan pola akumulasi bahan kering mirip untuk tanaman pada

A



B



Gambar 5.1 Serapan kumulatif jagung N dibagi dengan organ tanaman (A), dan serapan kumulatif N dengan waktu kebutuhan puncak (kolom hijau) dan rekomendasi waktu aplikasi (panah merah) untuk beras (B). **Sumber: A) Diadaptasi dari:** How a Corn Plant Develops, Iowa State University Special Report No. 48, November 2008; B) **Diadaptasi dari:** Bertsch F. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Informaciones Agronómicas 57:1-10. 2005.

umumnya dan biasanya mengikuti pola “S” atau sigmoid (**Gambar 5.1**). Hal ini ditandai dengan penyerapan yang agak lambat di awal dan naik ke kecepatan maksimum pada fase pertumbuhan cepat, dan melambat lagi pada saat tanaman matang. Tingkat serapan unsur hara tanaman tidak konsisten sepanjang musim. Aplikasi dijadwalkan dan ditargetkan dapat menguntungkan untuk produksi dan/atau kualitas tanaman pada beberapa sistem produksi untuk beberapa unsur hara, terutama N. Waktu dan target aplikasi juga dapat bermanfaat untuk mengurangi kehilangan unsur hara dari tanah karena dampak lingkungan.

Banyak contoh waktu aplikasi pupuk berdasarkan tingkat pertumbuhan tanaman yang dapat diberikan, tetapi hanya beberapa yang akan disebutkan di sini.

- ◆ **Aplikasi N dan K pada kapas.** Mayoritas N dan K dalam produksi kapas diambil setelah munculnya bunga pertama, atau pada fase reproduksi. Hal yang penting untuk memastikan bahwa unsur hara ini tersedia secara cukup ketika kebutuhan tertinggi. Dalam beberapa keadaan, N dan bahkan K yang diaplikasikan di daun atau bunga pertama dapat meningkatkan hasil dan/atau kualitas kapas.
- ◆ **Aplikasi N pada tanaman penghasil butiran kecil seperti gandum.** Kebanyakan rekomendasi pada gandum untuk aplikasi N pada saat menanam, dengan aplikasi atas (*topdress*) sebelum penggabungan (*jointing*). Pada saat gandum mulai berbuah, kebanyakan N telah diserap, dan jika pengelolaan N yang baik sebelumnya tidak dijalankan, maka hasil akan buruk. Meskipun hasil ditentukan pada saat ujung kepala gandum mulai tumbuh, pengaplikasian N pada akhir musim dapat meningkatkan protein pada biji. Hal ini dapat menguntungkan dimana mutu tinggi protein bernilai. Perlakuan yang hati-hati harus dilakukan pada pemupukan akhir musim untuk menghindari kerusakan yang dapat mempengaruhi pengisian butiran gandum (contohnya daun bendera yg terbakar).
- ◆ **Pohon Buah-buahan.** Pohon buah adalah tanaman tahunan dengan karakter dan distribusi penyerapan unsur hara yang berbeda dari kebanyakan tanaman kebun. Contoh yang bagus adalah anggur yang memiliki 3 tingkatan penyerapan yang berbeda: masa antara masa berkecambah/ awal pertumbuhan daun dan tunas baru/ perkembangan buah, periode antara perkembangan awal buah dan pengembangan buah, dan periode setelah pengembangan buah hingga matangnya buah.
- ◆ **Tanaman tropis semi-tahunan.** Untuk tanaman seperti kelapa sawit atau pisang yang panennya berkelanjutan, waktu yang tepat bergantung pada pola cuaca serta kesempatan aplikasi. Tetap penting untuk memperhitungkan antisipasi puncak produktivitas, misalnya ketika mulai hujan setelah periode kemarau.

- ◆ **Ca untuk kacang tanah.** Kacang tanah sangat sensitif terhadap defisiensi Ca. Ketersediaan Ca di zona tanah dengan kadar tinggi dibutuhkan pada saat pengembangan polong kacang, dan demikian aplikasi Ca-larut (misalnya kalsium sulfat atau kalsium nitrat) sebelum-berbunga kadang-kadang dilakukan pada kacang tanah.

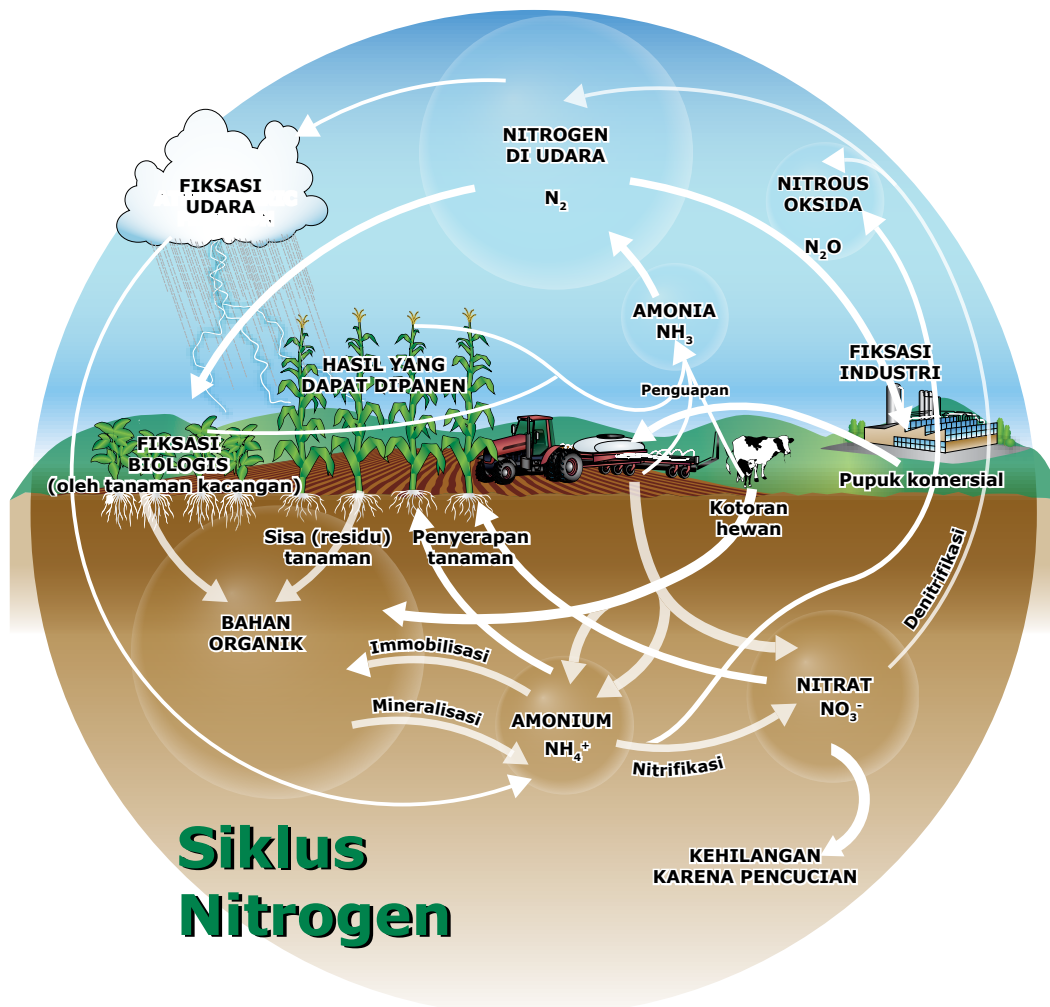
- ◆ **Mn untuk kedelai.** Aplikasi Mn melalui daun pada awal musim sering dilakukan untuk kedelai di area yang gejala defisiensi muncul pada jaringan tanaman.

Pertimbangan lain untuk waktu adalah sensitivitas tanaman terhadap kurangnya unsur hara tertentu, biasanya berkaitan dengan kondisi tanah. Beberapa tanaman lebih rentan terhadap kekurangan daripada yang lain, karena itu tanaman yang rentan memerlukan waktu pemupukan yang spesifik.

Pertanyaan



1. Salah satu inti dari lima prinsip ilmiah yang menentukan **waktu yang tepat** untuk suatu kondisi spesifik adalah:
 - a. aplikasi unsur hara tepat sebelum tahap pengisian biji.
 - b. evaluasi logistik dari operasi di lapangan.
 - c. mengasumsi mineralisasi unsur hara tanah berjalan lambat.
 - d. mengaplikasikan unsur hara tepat sebelum risiko pencucian meningkat.
2. Penyerapan unsur hara utama pada kebanyakan tanaman biasanya mengikuti kurva waktu yang bentuknya disebut:
 - a. sigmoid.
 - b. rhomboid.
 - c. spheroid.
 - d. linear.
3. Aplikasi pupuk N pada pertumbuhan bulir gandum dapat meningkatkan
 - a. produksi.
 - b. isi.
 - c. protein.
 - d. kualitas pati.



Gambar 5.2 Siklus N umum yang singkat. Karena siklus N lebih kompleks dan dinamis daripada unsur hara lainnya, diskusi pemilihan waktu yang paling sering berpusat pada pupuk N.

5.2 Menilai Dinamika Penyediaan Hara Tanah

Sebagian besar tanah memiliki kapasitas untuk memasok setidaknya beberapa unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Umumnya, semakin berpasir atau semakin terlapuk, semakin rendah kapasitas penyediaan unsur hara. Kapasitas penyediaan unsur hara tanah relevan untuk menilai komponen 4T, tetapi dapat mempengaruhi pilihan waktu dan juga kebutuhan. Pada umumnya, semakin besar kapasitas tanah untuk menahan dan menyediakan unsur hara tanaman dan menyediakannya selama masa pertumbuhan, semakin sedikit kebutuhan pada waktu kritis dari unsur hara tersebut. Berikut adalah dua contoh yang kontras:

- ◆ Bagi banyak tanah pertanian, pupuk P serta K dapat diterapkan sekali untuk memasok kebutuhan satu atau beberapa tanaman. P dan K yang diterapkan, ditahan oleh tanah, namun tetap tersedia bagi tanaman dari waktu ke waktu.

- ◆ Beberapa tanah yang sangat basa, atau tanah asam cukup umum di daerah tropis, memiliki kapasitas fiksasi P yang sangat tinggi. Pupuk fosfor yang diterapkan untuk tanah ini dapat dengan mudah dikonversi ke bentuk P yang sedikit larut dan tidak tersedia. Oleh karena itu, di lingkungan ini, hal yang umum untuk menerapkan produk pupuk P khusus per tahun pada area terkonsentrasi pada saat tanam untuk meningkatkan pasokan tanaman.

Sebuah pemahaman yang baik transformasi dari N dan unsur hara lainnya dalam tanah merupakan dasar untuk menilai dinamika pasokan hara tanah. Nitrogen diambil baik sebagai nitrat (NO_3^-) atau amonium (NH_4^+). Bentuk lain dari N harus dikonversi ke nitrat atau amonium sebelum tanaman dapat memanfaatkan N. **Gambar 5.2** menunjukkan gambaran dari siklus N dan bagaimana N dipindahkan serta diubah. Pada sebuah tanah, N yang tersedia bagi

tanaman dipasok baik dengan mineralisasi bahan organik tanah atau dengan residu nitrat dan amonium. Pada iklim kering, nitrat dapat terakumulasi dalam tanah dan dibawa melewati beberapa musim. Dimana curah hujan lebih tinggi, nitrat lebih mudah dikeluarkan dari tanah dengan pencucian dan/atau denitrifikasi. Nitrogen dapat memasuki tanah dari atmosfer melalui berbagai cara, atau dapat ditambahkan sebagai pupuk, sisa tanaman, atau pupuk kandang. Siklus N adalah yang paling kompleks di antara unsur-unsur hara, karena mengalami lebih banyak transformasi dan kehilangan dibandingkan unsur lainnya.

Faktor penting lainnya dalam penilaian dinamika pasokan hara tanah adalah tingkat uji tanah. Pengujian tanah bukan ilmu pasti, dalam arti tidak memberikan jawaban absolut terhadap aplikasi pupuk pada waktu yang telah ditentukan. Ada terlalu banyak faktor yang mempengaruhi sistem untuk sebuah ukuran seperti tingkat uji tanah untuk memprediksi secara konsisten sebuah keluaran. Menyediakan atau setidaknya memberikan ide, yaitu probabilitas respon terhadap aplikasi pemupukan dari suatu unsur hara yang spesifik. Umumnya, semakin tinggi tingkat uji tanah, semakin sedikit kebutuhan untuk aplikasi pupuk dan semakin besar fleksibilitas dalam waktu aplikasi. Lihat Bagian 8.5 untuk detail lebih lanjut.

Ketika menilai dinamika pasokan hara tanah, para praktisi harus mempertimbangkan siklus unsur hara tertentu. Pertanyaan kunci meliputi:

- ◆ Apakah ada masalah dengan imobilisasi atau proses lain yang mungkin mengganggu pasokan unsur hara?
- ◆ Apakah tanah memiliki potensi untuk membahayakan ketersediaan tambahan unsur hara dari waktu ke waktu (seperti P dalam tanah sangat asam atau basa)?

Pertanyaan ini dan lainnya akan mempengaruhi keputusan pada waktu pemupukan, dosis, penempatan, dan sumber.

5.3 Menilai Dinamika Kehilangan Hara Tanah

Hilangnya Nitrogen dan P dari sistem tanam umumnya merupakan kekhawatiran terbesar karena tidak hanya memiliki dampak ekonomi yang negatif, tetapi juga dapat menciptakan masalah lingkungan spesifik. Nitrogen dapat hilang melalui beberapa cara termasuk pencucian nitrat, hanyut melalui permukaan tanah, dan kehilangan bentuk gas. Nitrogen dalam tanah cenderung akan dikonversi ke bentuk nitrat. Karena muatan negatif, nitrat tidak tertarik ke partikel bermuatan negatif dari liat dan bahan organik. Dengan demikian nitrat bebas untuk tercuci sejalan dengan air bergerak melalui profil tanah. Fosfor kurang rentan terhadap pencucian, tetapi kehilangan sedikit P dapat berdampak besar pada kualitas air. Kehilangan P dari lahan terjadi melalui aliran permukaan. Dalam beberapa tanah, kehilangan melalui drainase sangat besar, dan dimana terdapat akumi-

lasi P yang tinggi dalam tanah, pencucian ke muka air tanah yang dangkal dapat menyebabkan kehilangan dari lahan. Penempatan pupuk P di bawah permukaan dapat sangat mengurangi risiko kehilangan.

Di tanah dan lingkungan iklim dimana ada potensi yang signifikan untuk hilangnya unsur hara, pemilihan waktu aplikasi perlu lebih ditargetkan dan spesifik. Misalnya, aplikasi N musim gugur untuk tanaman yang ditanam musim semi seperti tanaman jagung seharusnya hanya dilakukan di area geografis dimana risiko kehilangan rendah di akhir musim gugur setelah suhu tanah di bawah 10 °C dan diperkirakan dingin berlanjut. Aplikasi musim semi sebelum tanam dan/atau aplikasi sampingan biasanya memiliki risiko kehilangan lebih rendah dan keuntungan yang lebih besar, dan lebih cenderung aplikasi musim gugur meskipun ada tantangan logistik. Sebaliknya, beberapa sistem irigasi jagung memungkinkan petani untuk menerapkan beberapa aplikasi N di musim melalui fertigasi, lebih lanjut mengoptimalkan pemilihan waktu untuk lebih dekat dengan kebutuhan tanaman. Dengan demikian, melalui pemilihan waktu, efisiensi penggunaan hara dapat ditingkatkan dan potensi kehilangan berkurang.

5.4 Mengevaluasi Logistik Operasi Lapangan


Logistik distribusi pupuk, operasi lapangan, dan peralatan aplikasi merupakan faktor penting yang mempengaruhi pemilihan waktu. Seiring meningkatnya ukuran pertanian di beberapa daerah, kebutuhan yang sangat besar untuk para petani dapat mengatur logistik penanaman dan memilih waktu input. Penerapan pupuk awal, seperti aplikasi musim gugur untuk tanaman musim semi, dapat mengurangi tekanan pada operasi penanaman dan memungkinkan penanaman lebih tepat waktu. Aplikasi pupuk P dan K awal umumnya dianggap praktek yang wajar dengan risiko pencucian kecil dalam waktu antara aplikasi dan musim tanam; namun demikian, seperti yang disebutkan sebelumnya harus hati-hati dalam menerapkan N terlalu dini, terutama dimana ada peningkatan risiko kehilangan melalui pencucian dan/atau denitrifikasi.

Di daerah tropis adalah penting bersiap untuk kondisi cuaca yang tepat. Tanah dan analisis tanaman harus dilakukan dengan baik sebelum menentukan kebutuhan unsur hara dan memastikan pembelian dan cadangan pupuk yang tepat. Pupuk harus siap beberapa minggu sebelum waktu aplikasi yang diharapkan. Manajemen yang buruk dalam hal ini dapat menyebabkan masalah serius di beberapa sistem tropis. Misalnya, jika N dan K tidak diaplikasikan bersamaan ketidakeimbangan unsur hara mungkin dapat mempengaruhi ketebalan tanaman terhadap serangan hama, seperti yang diketahui dengan baik pemakan daun kelapa sawit yang mendapatkan keuntungan dari dedaunan dengan N yang tinggi dan K yang rendah.

Pertanyaan



4. Nitrat dapat mengakumulasi dalam tanah dan terbawa sampai beberapa musim pada
 - a. iklim lembab.
 - b. iklim kering.
 - c. tanah organik.
 - d. tanah sangat basa.
5. Waktu aplikasi unsur hara sangat penting bagi unsur
 - a. N.
 - b. P.
 - c. K.
 - d. Mo.
6. Nitrifikasi melibatkan konversi
 - a. nitrat menjadi nitrogen dioksida (NO_2).
 - b. nitrat menjadi nitrous oksida (N_2O).
 - c. amonium menjadi nitrogen (N_2).
 - d. amonium menjadi nitrat (NO_3).
7. Pada iklim dengan curah hujan tinggi, nitrat hilang dari tanah melalui
 - a. pencucian.
 - b. nitrifikasi.
 - c. imobilisasi.
 - d. penguapan NH_3 .
8. Pada tanah dengan kapasitas fiksasi P yang sangat tinggi, waktu yang tepat untuk aplikasi P adalah
 - a. setiap tahun setelah tanaman bersemi
 - b. setiap tahun saat penanaman
 - c. sekali dalam dua tahun
 - d. sekali dalam tiga tahun
9. Untuk tanaman yang ditanam pada musim semi, kelebihan aplikasi N di musim semi dibandingkan dengan musim gugur sebelumnya adalah
 - a. suhu tanah lebih hangat.
 - b. lebih sedikit interferensi (bersamaan) dengan operasi lahan yang lain.
 - c. risiko kehilangan lebih sedikit dan keuntungan lebih besar.
 - d. penanaman lebih tepat waktu.
10. Pupuk dengan teknologi yang meningkatkan efisiensi yang pelepasan unsur haranya dapat disesuaikan
 - a. untuk meningkatkan logistik operasi lahan.
 - b. hanya untuk tanaman bernilai tinggi seperti pisang.
 - c. untuk pelepasan unsur hara yang lebih cepat untuk tanaman.
 - d. untuk semua aplikasi unsur hara.

Pelepasan yang lambat dan teknologi pupuk lainnya yang meningkatkan efisiensi mungkin dapat menjadi alat yang berguna, dimana kebutuhan logistik dibutuhkan untuk satu aplikasi yang mungkin bukan pada waktu yang tepat. Harga dari produk ini secara tradisional menjadi pembatas penggunaannya di bidang produksi pertanian secara komersial; namun demikian, dengan kenaikan harga unsur hara dan masalah lingkungan meningkat, perubahan logistik dan/atau penggunaan produk menjadi lebih ekonomis dengan intensifikasi tanaman tropis seperti pisang, dimana jumlah total rotasi bisa dikurangi secara nyata menghemat biaya dan tenaga kerja. 

PUSTAKA

- Bruulsema, T.W. (ed). 2008. Managing Crop Nitrogen for Weather. IPNI, Norcross, GA, USA.
- Ma, L., L.R. Ahuja and T.W. Bruulsema (eds). 2009. Quantifying and Understanding Plant Nitrogen Uptake for Systems Modeling. Taylor and Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, USA.
- Schepers, J.S. and W.R. Raun (eds). 2008. Agronomy Monograph 49. American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI, USA.

Modul 5.1-1 Respon produksi gandum terhadap aplikasi nitrogen tambahan pada pemupukan akhir diprediksi dari warna daun. Perlakuan rekomendasi secara konvensional untuk pemupukan N pada gandum di India bagian Barat Laut adalah dengan aplikasi dasar (pada saat menabur) 50% N dari yang dibutuhkan, dengan 50% yang tersisa diaplikasikan pada tahap inisiasi tajuk akar (CRI) (tahap pertumbuhan Zadoks 13). Seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini, aplikasi N pada tahap anakan maksimum (MT; tahap pertumbuhan Zadoks 22) meningkatkan produksi setiap tahun selama 3 tahun ketika dosis dasar dan CRI mencapai 80 kg/ha atau kurang, dan dalam 2 dari 3 tahun pada dosis yang lebih tinggi. Respon produksi terhadap penambahan N pada aplikasi akhir meningkat, saat nilai klorofil meter (SPAD) pada tahap MT turun di bawah 44. **Diadaptasi dari:** Bijay-Singh, et al. 2002. *Agron. J.* 94:821–829.

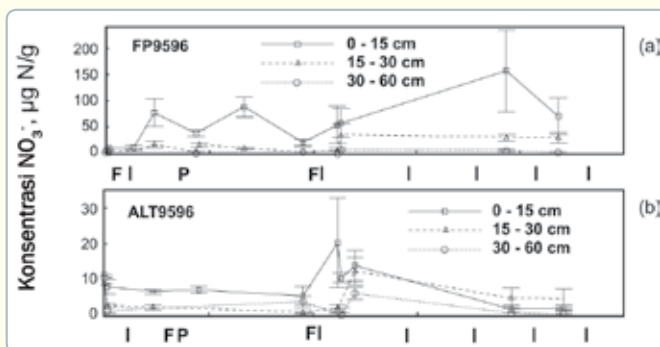
Aplikasi Pemupukan N, kg N/ha				Produksi gandum, t/ha		
Basal	CRI	MT	Total	1996–1997	1997–1998	1998–1999
0	0	0	0	-	1,7a [†]	1,8a
0	0	30	30	-	3,1b	2,7b
30	30	0	60	3,3a	3,7c	2,9c
30	30	30	90	4,1b	4,5d	3,7d
40	40	0	80	3,9b	4,2d	3,6d
40	40	30	110	4,5c	5,0e	4,2e
50	50	0	100	4,1b	5,1e	4,4f
50	50	30	130	4,5c	5,2e	4,7g
60	60	0	120	4,6c	5,1e	4,8g
60	60	30	150	4,8c	5,1e	5,1h

† Dalam kolom, diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada tingkat probabilitas 0,05 pada Duncan's Multiple Range Test.

Disampaikan oleh H.S. Khurana, IPNI, India, December 2011.

Modul 5.1-2 Aplikasi nitrogen yang selaras dengan kebutuhan tanaman menurunkan nitrat tanah. Kebutuhan N tertinggi pada gandum terjadi pada permulaan pemanjangan batang (tahap pertumbuhan Zadoks 31). Penyesuaian aplikasi N terhadap kebutuhan tanaman dapat membantu meningkatkan efisiensi pemanfaatan dan menghasilkan keuntungan yang lebih tinggi bagi petani dan efek samping lebih sedikit untuk lingkungan.

Petani gandum di Barat Laut Mexico secara rutin mengaplikasikan 75% dari dosis rekomendasi (250 kg/ha) 3 minggu sebelum penanaman dan sisanya 5 minggu setelah penanaman. Riley et al. (2001) membandingkan praktek yang dilakukan petani dengan alternatif yang melakukan 33% pemupukan N pada saat penanaman dan sisanya 5 minggu setelah penanaman. Ditemukan bahwa alternatif pengaturan waktu tersebut meningkatkan penyerapan hara dan mengurangi pencucian N hingga 60% dibandingkan dengan praktek petani (lihat gambar), namun masih menghasilkan keuntungan yang sebanding kepada petani. Sumber: Riley, W.J., I. Ortiz-Monasterio, dan P.A. Matson (2001). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61(3):223-236.

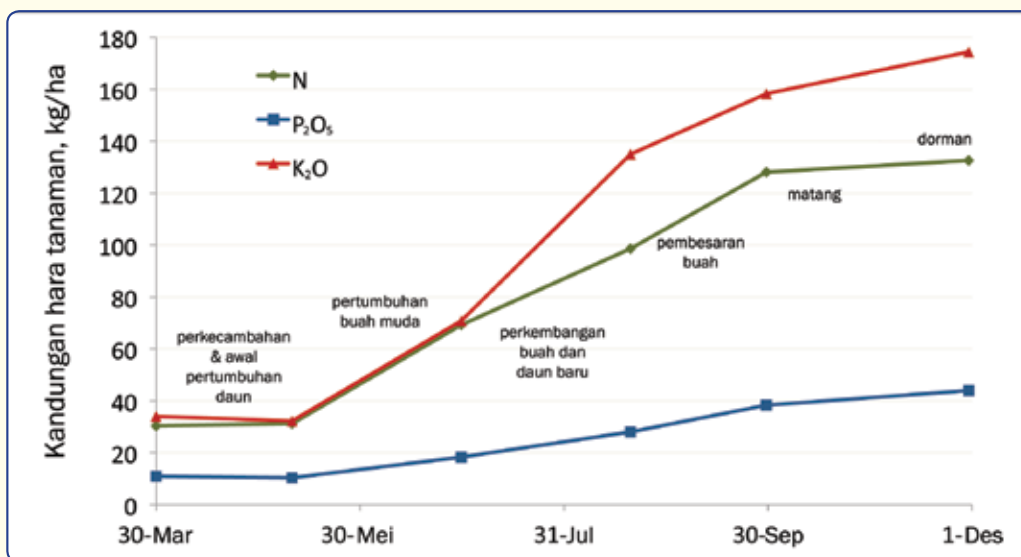


Konsentrasi mineral N di air tanah diukur saat pertumbuhan gandum untuk praktek yang biasa dilakukan petani (FP9596) dan praktek alternatif (ALT9596). F, I, dan P mengacu kepada pemupukan, irigasi, dan tanggal penanaman. Mineral N adalah dari NO₃ + NO₂ diukur dengan lisimeter penggalan air tanah pada kedalaman 70 cm.

Disampaikan oleh A. Tasistro, IPNI, USA, September 2011.

Modul 5.1-3 Pola serapan untuk nitrogen, fosfor, dan kalium pada tanaman anggur di Shaanxi, China mempengaruhi rekomendasi waktu aplikasi.

Studi telah dilakukan di Daerah Fufeng, yang terletak di barat Guanzhong di Shaanxi, China untuk mengidentifikasi serapan hara pada tanaman anggur tua umur 7 tahun menurut tahap perkembangan tanaman. Gambar di bawah ini menunjukkan peningkatan jumlah N, P dan K pada tanaman anggur selama musim tanam. Antara 30 Maret dan 30 November, tanaman anggur mengakumulasi rata-rata di atas 102 kg N/ha, 33 kg P₂O₅/ha, dan 140 kg K₂O/ha pada 3 tahap: 1) periode antara perkecambahan/awal tumbuhnya daun dan pertumbuhan tunas baru/buah; 2) periode antara pertumbuhan buah awal dan perkembangan buah; dan 3) periode setelah perkembangan buah hingga buah matang. Periode-periode ini menunjukkan 38%, 29%, dan 29% dari total akumulasi N, 22%, 29%, dan 31% dari total akumulasi P, dan 26%, 46%, dan 17% dari total akumulasi K. Berdasarkan karakteristik penyerapan hara selama masa tanam, pupuk N harus dibagi secara merata antara 3 tahap kebutuhan hara yang disebutkan di atas. Sekitar 50% dari rekomendasi P harus diberikan sebelum pembesaran buah dan 70% dari rekomendasi K harus diaplikasikan sebelum perkembangan tunas baru. **Sumber:** Tong, Y., et al. 2010, Better Crops with Plant Food, Vol. 94, No. 2, 29-31.



Disampaikan oleh S. Li, IPNI, China, December 2011.



Modul 5.1-4 Pemisahan dosis membuat lebih banyak kalsium tersedia bagi tanaman kacang tanah. Penyerapan kalsium berhubungan erat dengan transpirasi. Tanaman kacang tanah memiliki kesulitan mendistribusikan Ca dari akar, batang dan daun ke polong yang sedang berkembang, sehingga lebih dari 90% Ca yang dibutuhkan oleh polong diambil langsung dari tanah. Dengan demikian, jumlah Ca yang memadai setelah berbunga diperlukan pada zona tanah tempat polong kacang tanah berkembang. Percobaan menggunakan pot telah dilakukan untuk menentukan efek waktu aplikasi pupuk Ca terhadap produksi kacang tanah dan penyerapan Ca. Tabel di bawah ini menunjukkan bahwa aplikasi dasar tunggal meningkatkan produksi kacang tanah sebanyak 10 hingga 24%. Pemberian terpisah baik dengan gipsium atau kalsium nitrat meningkatkan produksi sebanyak 3 hingga 7% dan 11 hingga 30% pemulihan Ca dibandingkan dengan pemberian dasar tunggal. Berdasarkan hal ini, pemberian Ca yang larut sebelum pembungaan dianggap penting untuk produksi kacang tanah yang tinggi.

Sumber: Lin, B. et al. 1997. Chinese Journal of Soil Science, 28(4):172-174.

Perlakuan	Dasar %		Dasar 50% + Aplikasi atas pada pembungaan 50%	
	Produksi, g/pot	Pemulihan Ca, %	Produksi, g/pot	Pemulihan Ca, %
NPK	26	-	26	-
NPK+CaSO ₄	29	9	30	10
NPK+ Ca(NO ₃) ₂	30	10	32	13

Disampaikan oleh S. Li, IPNI, China, December 2011.

Modul 5.1-5 Pemisahan aplikasi nitrogen meningkatkan produksi dan efisiensi nitrogen pada gandum musim dingin. Nitrogen merupakan kontributor yang sangat penting untuk produksi gandum musim dingin di China bagian Utara dan Tengah. Percobaan lapangan telah dilakukan untuk menyelidiki efek dari beragam dasar: rasio tanah bagian atas (topdressing) untuk aplikasi N terhadap produksi gandum, penyerapan N dan efisiensi. Aplikasi dasar dilakukan saat penanaman, dan aplikasi bagian atas pada tahap pertumbuhan Zadoks GS30 (sekitar 150 hari setelah tanam).

Tabel di bawah menunjukkan bahwa penggunaan N menaikkan produksi gandum sebanyak 20% hingga 35%, dan kedua perlakuan dengan pemisahan pemberian N meningkatkan produksi 10% hingga 12% dibandingkan dengan yang sekali aplikasi. Pemisahan pemberian nitrogen juga meningkatkan penyerapan N 2% hingga 7%, dan memperbaiki efisiensi pemulihan N 9% hingga 25%. Perlakuan pemisahan yang paling baik adalah dengan 60 kg N/ha diaplikasikan sebagai dasar and 180 kg N/ha pada bagian atas (topdressing). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi N pada saat yang tepat adalah penting untuk produksi tanaman dan efisiensi yang tinggi.

Sumber: Zhao, S.C. et al. 2011. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 17(3):517-525.

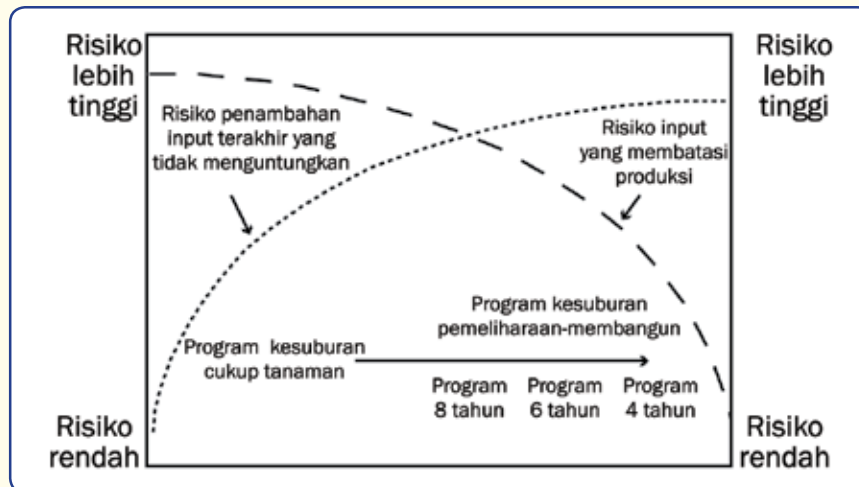
Perlakuan (terpisah), kg N/ha	Produksi biji, t/ha	Penyerapan N, kg/ha	Pemulihan N, %
0 N	5,4	124	-
240 N (0/240)	6,5	170	19
240 N (60/180)	7,3	181	24
240 N (120/120)	7,2	174	21

Disampaikan oleh P. He, IPNI, China, March 2013.

Modul 5.2-1 Tingkat uji tanah yang tinggi memungkinkan fleksibilitas waktu aplikasi fosfor dan kalium.

Laboratorium uji tanah Kansas State University (KSU) memberikan rekomendasi pemupukan berdasarkan pendekatan kecukupan atau pendekatan membangun-memelihara terhadap manajemen hara. Pelanggan memilih pendekatan mana yang lebih sesuai dengan keadaan mereka. Sasaran dari pendekatan kecukupan adalah memberikan P dan/atau K dalam jumlah yang cukup untuk memaksimalkan keuntungan di tahun itu, namun meminimalkan aplikasi hara dan biaya pupuk. Tujuan pendekatan membangun-memelihara adalah mengatur hasil uji tanah P dan/atau K sebagai variabel yang terkendali. Pada nilai uji yang rendah, rekomendasi dimaksudkan untuk memberikan P dan/atau K yang cukup, baik untuk memenuhi kebutuhan hara yang segera pada tanaman dan membangun hasil uji tanah pada nilai yang tidak membatasi, di atas tingkat kritis. Fakultas di KSU mengumpulkan informasi klasik dan angka hubungan antara tingkat uji tanah, produksi tanaman dan rekomendasi pupuk. Hubungan yang digeneralisasi pada gambar berikut ini menunjukkan bagaimana ketika tingkat uji tanah naik, fleksibilitas waktu juga naik, dan risiko input (pupuk) yang membatasi produksi menurun.

Sumber: Leikam, D.F., et al. 2003. Better Crops with Plant Food. Vol. 87, No. 3, p. 6-10. Informasi lebih lanjut lihat Bagian 8,5.



Disampaikan oleh W.M. Stewart, IPNI, USA, December 2011.

Modul 5.3-1 Aplikasi nitrogen musim semi meningkatkan pemulihan nitrogen dan keuntungan pada jagung di Minnesota bagian selatan.

Studi jangka panjang Corn Belt Amerika Serikat dilakukan di Waseca, MN membandingkan aplikasi amonia pada musim gugur dan tanpa penghambat nitrifikasi (N-Serve, atau nitrapyrin) dengan aplikasi pra-tanam musim semi tanpa penghambat nitrifikasi. Tabel di bawah ini menunjukkan produksi dari 15 tahun penelitian. Singkatnya, data menunjukkan bahwa aplikasi N (sebagai amonia) pada akhir musim gugur dengan penghambat nitrifikasi dan pra-tanam musim semi adalah yang terbaik. Namun demikian, harus diketahui apabila musim semi banyak mengandung air maka produksi dan keuntungannya dapat lebih besar daripada kombinasi musim gugur + N-Serve. Secara keseluruhan, risiko pemilihan waktu yang paling kecil adalah pra-tanam musim semi, diikuti dengan musim gugur + N-Serve, dengan musim gugur (tanpa penghambat) menjadi risiko yang paling besar dan efisiensi yang paling kecil. Jadi, aplikasi N pada jagung harus dihindari pada area dengan musim dingin yang hangat/terbuka, dan ditunda apabila suhu tanah kurang dari 10°C dan dengan harapan semakin dingin sehingga memperlambat nitrifikasi pada musim gugur dan menghindari peningkatan pencucian nitrat dan/atau denitrifikasi. Penggunaan penghambat nitrifikasi dapat lebih lanjut membantu memperlambat nitrifikasi, namun dengan tetap penggunaan penghambat, aplikasi musim gugur, dimana sesuai, sebaiknya ditunda sampai suhu tanah menjadi dingin.

Sumber: Randall, G. 2008. *In Proc. 20th Annual Integrated Crop Manag. Conf.*, Dec. 10-11, Iowa State Univ., Ames. p. 225-235.

Parameter (rerata 15 tahun, 1987 sampai 2001)	Waktu Aplikasi N		
	Musim gugur	Musim gugur + N-Serve	Musim Semi
Produksi (t/ha)	9,03	9,60	9,78
Produksi ekonomis selama musim gugur (\$/ha/th) ¹	--	\$69	\$119
"Flow-weighted NO ₃ -N" (mg/L) di dalam air irigasi	14,1	12,2	12
Pemulihan Nitrogen pada biji (%) ²	38	46	47

¹ Berdasarkan N @ \$1,54/kg N; N-Serve = \$19,78/ha; Corn = \$157,5/t

² Nitrogen pada jagung dalam bentuk persentase dari jumlah pupuk N yang diaplikasikan.

Disampaikan oleh W.M. Stewart, IPNI, USA, December 2011.

Modul 5.3-2 Waktu aplikasi pupuk fosfor secara tabur dapat membantu melindungi Danau Erie.

Fosfor (P) adalah hara penting bagi pertumbuhan tanaman. Namun, kelebihan P dapat mengakibatkan munculnya ganggang di saluran, sungai dan danau. Pada daerah aliran air Danau Erie dan di sekitar Negara bagian Ohio, Amerika Serikat, tingkat P yang larut di sungai dan ganggang di danau cenderung meningkat dari tahun 1995 hingga 2011. Masalahnya bukan hanya pupuk yang diaplikasikan pada sistem tanaman jagung-kedelai, namun ada beberapa penyebab lain, dan waktu pengaplikasian dapat memberikan efek yang besar jika pupuk P diaplikasikan secara tabur.

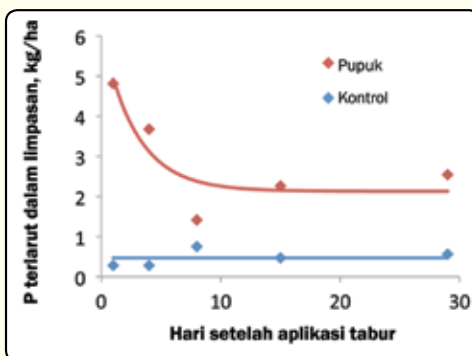
Aplikasi dengan cara ditabur memberikan fleksibilitas pada waktu dan sering biayanya paling rendah. Pada tanah dengan kandungan P yang optimal, aplikasi lajur dan tabur tidak banyak berbeda jika menyangkut ketersediaan dan responnya untuk tanaman. Namun aplikasi tersebut berbeda pada risiko kehilangan karena pencucian. Untuk meminimalkan hilangnya P karena ditabur, penting bahwa aplikasi dilakukan jika risiko kehilangan karena pencucian rendah. Proses penghanyutan lebih sering terjadi di akhir musim gugur, musim dingin dan awal musim semi. Idealnya semua P diberikan pada saat penanaman, namun keterbatasan kapasitas penyimpanan dan ketersediaan peralatan membuat hal ini tidak praktis.

Bahkan kehilangan yang kecil P dalam aliran permukaan sekalipun dapat membahayakan kualitas air. Produser telah disarankan untuk memperhatikan prakiraan cuaca dan menghindari menabur pupuk P jika ada 50% kemungkinan hujan deras beberapa hari ke depan. Seperti yang diindikasikan **Gambar 1 dan 2**, level daya larut P pada aliran permukaan menurun banyak jika aliran permukaan terjadi 3 hingga 5 hari setelah aplikasi. Aplikasi P yang ditabur di atas es atau salju di musim dingin tidak pernah tepat karena seringkali berakhir dengan aliran permukaan pada musim semi.

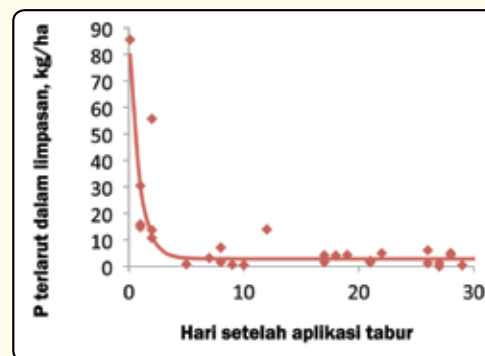
Pengolahan lahan untuk memasukkan metode tabur mengurangi kehilangan P terlarut melalui aliran permukaan, tetapi dapat meningkatkan hilangnya total P melalui erosi. Pilihan untuk “waktu yang tepat” atau “tempat yang tepat” harus dipertimbangkan keduanya yang paling cocok untuk perusahaan produsen tanaman.

PUSTAKA

- Owens, L.B. and M.J. Shipitalo. 2006. *J. Environ. Qual.* 35:1101–1109.
Smith, D.R., et al. 2007. *Environ. Poll.* 147:131-137.



Gambar 1. Konsentrasi P terlarut pada aliran permukaan dari plot yang ditanami *tall fescue* selama simulasi hujan yang terjadi 1 hingga 29 hari setelah aplikasi tabur pupuk triple superfosfat (Smith et al., 2007). Tanah lempung berdebu dekat Lafayette, Indiana, Amerika Serikat



Gambar 2. Konsentrasi P terlarut pada aliran permukaan, diambil contohnya pada saat hujan periode selama 14 tahun, diamati berdasar waktu setelah aplikasi paling terkini pupuk superfosfat, pada rumput dan padang dekat Coshocton, Ohio, Amerika Serikat (Owens and Shipitalo, 2006). Tanah lempung berdebu yang dikeringkan dengan baik sampai kering sedang

Disampaikan oleh T.W. Bruulsema, IPNI, Kanada, Mei 2013.



Bab 6

PRINSIP-PRINSIP ILMIAH PENDUKUNG TEPAT TEMPAT

Tepat tempat berarti menempatkan persediaan hara yang diperlukan secara strategis sehingga tanaman dapat mengaksesnya. Penempatan yang tepat mendukung tanaman untuk tumbuh dengan baik dan mengaktualisasikan potensi panennya, tergantung pada kondisi lingkungan pertumbuhannya. Tepat tempat, pada prakteknya, terus berkembang. Genetika tanaman, teknologi penempatan, praktek pengemburan tanah, jarak tanaman, rotasi tanaman atau tumpang sari, variabilitas cuaca, dan berbagai faktor lainnya dapat mempengaruhi jenis penempatan yang tepat. Oleh karena itu, masih banyak yang harus dipelajari tentang hal-hal yang dianggap “tepat” pada tepat tempat dan seberapa besar hal ini dapat diprediksi saat harus membuat keputusan manajemen.

Inti prinsip ilmiah yang mendefinisikan tepat tempat untuk aplikasi hara tertentu antara lain sebagai berikut:

- ◆ **Pertimbangkan sumber, dosis dan waktu aplikasi.**
- ◆ **Pertimbangkan dimana akar tanaman bertumbuh.** Hara harus ditempatkan dimana akar berkembang dapat menjangkaunya saat diperlukan.
- ◆ **Pertimbangkan reaksi kimia tanah.** Hara yang terkonsentrat saat tertahan dalam tanah seperti P pada ikatan atau volume tanah yang kecil dapat meningkatkan ketersediaan.
- ◆ **Sesuaikan tujuan sistem pengolahan tanah.** Teknik

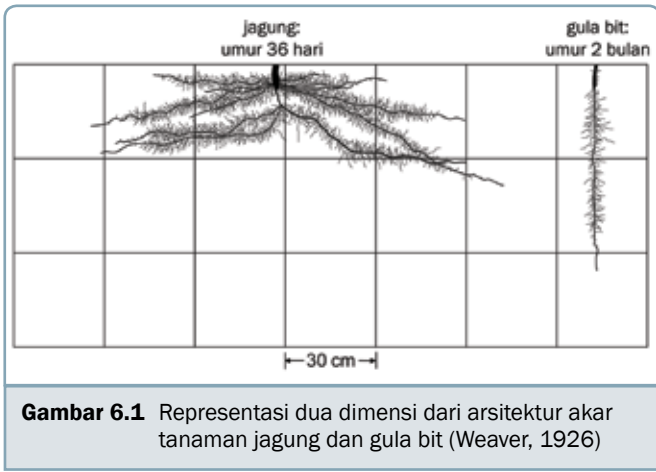
penempatan dalam tanah yang menjaga penutupan tanah oleh sisa tanaman yang dapat membantu mempertahankan hara dan air.

- ◆ **Mengelolah variabilitas spasial.** Menilai perbedaan tanah dalam areal dan antar areal mengenai produktivitas tanaman, kapasitas tanah dalam menyediakan hara, dan kerentanan terhadap hilangnya hara.

6.1 Pertumbuhan Akar Tanaman

Arsitektur akar adalah konfigurasi spasial dan 3 dimensi pada sistem perakaran dan mengacu pada susunan geometris akar tanaman di dalam tanah. Arsitektur akar sangat berbeda antara spesies tanaman dan berhubungan erat dengan kondisi tanah.

Untuk mendemonstrasikan perbedaan kontras pada arsitektur akar, **Gambar 6.1** menunjukkan diagram potongan melintang vertikal pada jagung dan gula bit. Diagram pertama menggambarkan sistem perakaran jagung pada umur 36 hari. Sistem perakaran serabut memiliki orientasi horizontal yang khas dan ditemukan pada kedalaman tanah yang lebih dangkal. Diagram kedua merupakan sistem perakaran gula bit pada usia 2 bulan pada kondisi tanah teririgasi. Sistem akar tunggangnya berorientasi vertikal dan meluas lebih dalam pada tanah. Spesies tanaman yang berbeda memiliki pola pertumbuhan akar yang berbeda pula, yang mempengaruhi kemampuan secara individual



Gambar 6.1 Representasi dua dimensi dari arsitektur akar tanaman jagung dan gula bit (Weaver, 1926)

untuk mengakses hara pada berbagai lokasi di dalam tanah. Selain itu, dalam suatu species, tidak semua sistem perakaran bertahan aktif sepanjang musim, semakin mempengaruhi akses terhadap persediaan hara pada suatu lokasi manapun.

Plastisitas akar. Arsitektur akar tanaman berubah sepanjang musim seiring tanaman semakin matang dan sistem perakaran beradaptasi terhadap lingkungan sekitarnya—sebuah karakter yang diistilahkan “plastisitas”. Berbagai kondisi eksternal dapat mengubah arsitektur akar; contohnya termasuk kandungan kelembaban tanah (Sharp et al., 1988), suhu tanah (Walker, 1969), konsentrasi hara (Zhang and Barber, 1992), and bobot isi tanah (Kasper et al., 1991).

Saat akar tanaman dihadapkan pada zona dengan N atau P yang terkonsentrasi, terjadi pertumbuhan akar yang cepat. **Gambar 6.2** menunjukkan bagaimana distribusi akar barley dapat diubah oleh zona P terkonsentrasi. Sebagian besar akar yang terdapat pada zona P tinggi berasal dari peningkatan percabangan akar. Contoh penelitian ini menunjukkan bahwa penempatan hara mempengaruhi lebih dari sekedar lokasi persediaan hara, namun juga mempengaruhi banyaknya bagian dari sistem perakaran yang terjangkau oleh persediaan tersebut.

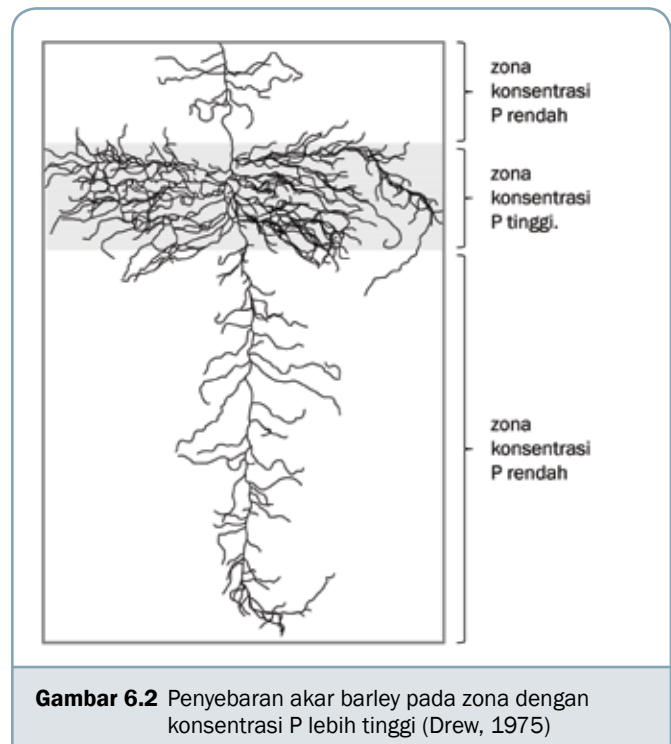
Serapan hara akar. Absorpsi hara merupakan salah satu fungsi primer akar tanaman. Hara memasuki sel akar dari larutan tanah melintasi pori-pori pada dinding sel.

Terdapat dosis maksimum penyerapan hara oleh akar (Barber, 1995). Hal ini menandakan bahwa saat konsentrasi hara dalam tanah meningkat (adanya penambahan hara), laju penyerapan akar turut meningkat, namun akhirnya akan mendekati suatu titik maksimum. Hal ini berarti bahwa tidak ada satu akar tunggal yang dapat memenuhi semua kebutuhan hara tanaman selama masa perkembangannya. Karena itu, diperlukan sebuah sistem perakaran yang telah berkembang dengan baik, dengan setiap akar aktif berkontribusi terhadap akuisisi hara yang diperlukan secara keseluruhan.

Akar juga kehilangan hara, sebuah proses yang dinamakan pengeluaran (*efflux*). Proses *efflux* dan juga pemasukan (*influx*) terjadi pada akar di berbagai tingkat konsentrasi hara tanah. Namun, semakin menurunnya persediaan hara tanah, proses *influx* dan *efflux* dapat menjadi hampir setara. Pada titik tersebut, tidak ada penyerapan hara baru oleh akar, sehingga konsentrasi ini dinamakan C_{min} . Nilai terendah angka persediaan hara pada tanah ketika penyerapan berhenti akan bervariasi dan tergantung pada spesies tanaman dan jenis hara.

Tanaman juga memiliki mekanisme umpan balik yang memungkinkan terjadinya penyesuaian tingkat penyerapan hara (kinetika) terhadap kondisi tanah. Tanaman melakukan penyesuaian terhadap konsentrasi hara rendah dengan mengubah sistem transportasi yang terdapat pada membran sel akar, yang kemudian mengurangi tingkat C_{min} . Sebagai contoh, tanaman jagung yang tumbuh pada konsentrasi P sebanyak 10 kali lebih rendah dari konsentrasi normal, akan menyerap P hingga mencapai tingkat C_{min} yang bernilai lebih dari 4 kali lebih rendah dibandingkan tanaman normal lainnya.

Konsentrasi hara yang rendah dalam tanah juga akan mengakibatkan kenaikan tingkat maksimum *influx* hara. Peningkatan ini menyebabkan setiap akar yang tidak mendapatkan persediaan hara dalam tanah untuk menyediakan proporsi hara lebih besar terhadap kandungan total hara pada tanaman. Perubahan pada C_{min} dan *influx* menyebabkan tanaman yang kekurangan hara untuk mengkompensasikan sebagian kekurangan persediaan hara dalam tanah, walaupun penyerapan keseluruhan lebih rendah daripada tanaman pada keadaan tidak tertekan.



Gambar 6.2 Penyebaran akar barley pada zona dengan konsentrasi P lebih tinggi (Drew, 1975)

Jumlah penyerapan hara oleh akar tanaman dapat berubah sesuai dengan umur tanaman. Sebagai contoh, laju penyerapan P beberapa kali lebih besar saat tanaman jagung dan kedelai masih muda, dibandingkan saat lebih tua. Ketika laju penyerapan berkurang seiring waktu, seperti yang telah diobservasi pada jagung dan kedelai, maka jumlah permukaan akar yang lebih banyak akan diperlukan di masa tersebut, dengan peningkatan yang sesuai dengan volume tanah yang dipupuk yang dapat terjangkau, hanya untuk menjaga kadar penyerapan hara. Namun demikian ketika bagian tanaman yang berada di atas tanah mulai berkembang, kebutuhan penyerapan tanaman semakin bertambah, sehingga membutuhkan perkembangan akar yang lebih luas.

Pertanyaan



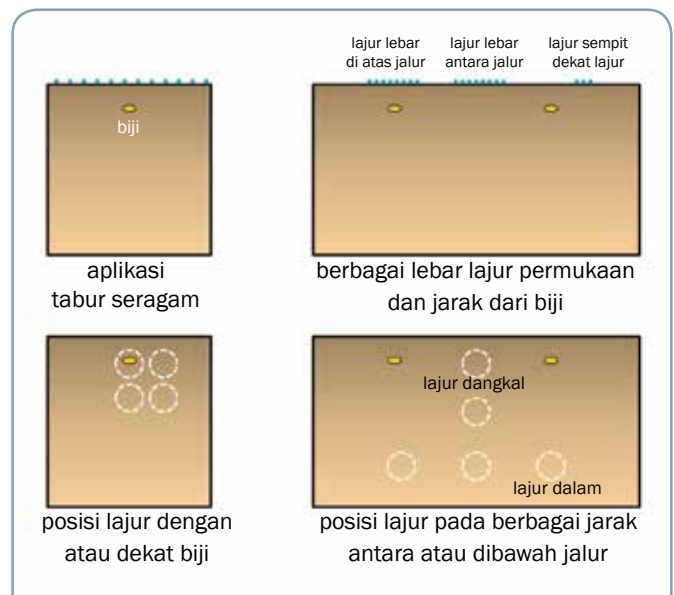
- Salah satu dari lima inti prinsip ilmiah yang mendefinisikan **tempat yang tepat** untuk suatu rangkaian kondisi adalah untuk:
 - membenam hara di dalam tanah.
 - mempertimbangkan di mana akar tanaman tumbuh.
 - mencampur hara di seluruh volume tanah.
 - menggabungkan hara menggunakan pengolahan primer.
- Akar tanaman berkembang pada zona tanah di mana hara pupuk yang ditempatkan antara lain
 - Zn dan Mn.
 - Ca dan Mg.
 - K dan Mg.
 - N dan P.
- Ketika tanaman menyesuaikan terhadap konsentrasi hara rendah dengan mengubah sistem transportasi pada membran sel akhirnya, tanaman dapat
 - tumbuh lebih cepat daripada tumbuh pada konsentrasi hara tinggi.
 - menyerap lebih banyak hara daripada tumbuh pada konsentrasi hara tinggi.
 - mengkompensasi sebagian untuk persediaan hara tanah rendah.
 - meningkatkan C_{min} hara.
- Metode penempatan hara yang paling seragam dalam mendistribusikan hara di seluruh volume tanah adalah:
 - penyebaran (*broadcasting*).
 - Lajur.
 - pelapisan bibit.
 - pop-up*.

6.2 Praktek Penempatan Hara

Terdapat dua cara utama untuk memberi hara di atas atau di bawah permukaan tanah: 1) disebar (*broadcasting*) atau 2) pemupukan pada lajur (*banding*). Pemupukan melalui penyebaran (*broadcasting*) merupakan proses pengaplikasian hara pada permukaan tanah dengan perlakuan yang hampir seragam (**Gambar 6.3**). Tujuan dari penyebaran pupuk adalah untuk mendapatkan sebaran pupuk yang cukup merata antara individu hara, baik granul pupuk kering maupun pupuk cair. Pemupukan pada lajur merupakan proses pemupukan dengan mengaplikasikan hara pada area atau volume tanah dengan kelebihan tertentu. Aplikasi dengan cara ini dapat dilakukan pada permukaan tanah atau bawah permukaan dengan kedalaman tertentu.

Seperti yang telah ditunjukkan oleh **Gambar 6.3**, tersedia sejumlah pilihan untuk penempatan di atas atau di bawah permukaan tanah.

- Kombinasi dari kedua cara pemupukan tabur dan lajur umum terjadi.
- Pemupukan lajur dapat berbeda lebar maupun posisi pada baris tanaman.
- Tanah dapat dicampur sampai beragam rupa dengan pengolahan tanah, penggunaan organisme seperti cacing tanah, atau proses fisik yang timbul dari perubahan sementara dari kelembaban tanah ataupun suhu.
- Pemupukan dalam tanah merupakan yang paling sering menggunakan pemupukan lajur, meskipun injeksi pada berapa titik yang berjarak sama, disebut "sarang", juga merupakan pilihan lainnya.



Gambar 6.3 Diagram konsep pilihan penempatan berbeda untuk hara

- e) Konfigurasi yang memungkinkan untuk pemupukan lajur dalam tanah adalah banyak. Lajur yang diletakkan di dekat bibit pada saat penanaman biji sering disebut 'starter'. Secara relatif terhadap biji, pupuk dapat diletakkan bersentuhan dengan lubang bibit (sering disebut 'pop up'), atau ke samping, atau di bawah, atau ke samping dan juga di bawah (sering disebut 'side band').
- f) Sejumlah lajur dari berbagai kombinasi dapat diaplikasikan.
- g) Lajur yang tidak diletakkan dekat bibit dapat diletakkan pada berbagai jarak dari barisan tanaman.
- h) Dalamnya penempatan juga dapat sangat bervariasi, namun perlengkapan dan kebutuhan tenaga biasanya membatasi peletakan lajur sampai kedalaman kurang dari 20 cm, meskipun penempatan yang lebih dalam masih memungkinkan.

Penambahan hara mikro pada bibit, seperti Mo untuk kedelai atau Zn untuk jagung, dapat juga dianggap sebagai metode penempatan. Namun demikian, konsentrasi aman maksimum untuk perlakuan bibit dapat bervariasi antara satu species tanaman dengan yang lain, dan bahkan antara hibrida jagung dalam grup kematangan yang berbeda. Banyak tanaman yang sensitive terhadap pelapisan hara mikro pada bibit.

6.3 Reaksi Tanah dan Akar terhadap Penempatan Lajur

Konsep perkembangan akar, serapan hara, reaksi kimia tanah, dan pergerakan hara membentuk dasar dari prinsip penempatan hara yang diterima secara luas (Barber, 1995). Proses-proses yang terjadi saat hara pada lajur:

- a) hara terkonsentrasi pada volume tanah yang lebih kecil;
- b) jumlah hara yang diaplikasikan akan lebih banyak daripada yang tertinggal dalam larutan tanah, sangat penting bagi hara yang bereaksi dengan mineral tanah dan dengan ion lain pada larutan untuk membentuk senyawa yang tidak segera tersedia bagi tanaman;
- c) konsentrasi larutan tanah yang lebih tinggi mempercepat laju difusi hara serta menyediakan pergerakan hara yang oleh aliran massa dalam jumlah yang lebih besar, keduanya akan meningkatkan laju penambahan hara ke akar tanaman;
- d) persediaan N dan P terkonsentrat akan menyebarkan akar tanaman, yang menyebabkan meningkatkan bagian dari jumlah penyerapan tanaman dari daerah sekitar lajur;
- e) laju serapan akar-akar individu dapat meningkat saat tanaman mengalami defisit hara, namun dapat mencapai titik maksimal, sehingga membutuhkan lebih banyak bagian akar yang berada dekat persediaan hara sejalan dengan perkembangan tanaman.

Pertimbangan keseluruhan dari semua proses ini menjadikan konsep-konsep penempatan lajur berikut ini:

- a) aplikasi lajur kemungkinan besar merupakan metode penempatan paling efisien saat kondisi tingkat kesuburan tanah rendah, dosis aplikasi hara rendah, dan hara yang diaplikasikan merupakan jenis hara yang bergerak terutama melalui difusi (sebagai contoh P atau K, bukan N);
- b) pada tanah dengan kesuburan rendah, pengaplikasian hara cara lajur dalam dosis rendah mungkin tidak dapat memenuhi keseluruhan kebutuhan hara tanaman;
- c) pada tanah dengan kesuburan rendah, diperlukan sejumlah tanah yang telah dipupuk dengan kadar pupuk melebihi jumlah pada aplikasi lajur tunggal agar mencapai produksi maksimum.

Saat pupuk diaplikasikan pada tanah, setiap butir granula (bentuk kering) atau tetesan (bentuk cairan dan suspensi) bereaksi dan membentuk volume kecil tanah subur di sekitarnya. Seberapa jauh volume ini menyebar dari partikel pupuk bervariasi pada hara, kondisi lingkungan dan karakter fisik serta kimia tanah. Jumlah tanah yang diperkaya oleh sebutir atau setetes pupuk hanya sedikit, namun volume tanah subur secara keseluruhan dapat ditingkatkan dengan cara berikut ini: 1) pengolahan tanah, 2) meningkatkan kadar hara, 3) meningkatkan frekuensi aplikasi hara, dan 4) mengaplikasikan hara pada lokasi yang berbeda-beda dalam tanah.

Pengolahan tanah merupakan salah satu cara untuk mencampur volume tanah yang dipupuk di sekitar partikel pupuk dengan tanah yang lebih banyak. Namun meskipun dengan pencampuran dapat menyuburkan lebih banyak volume tanah, dapat mengencerkan kadar hara pada volume tertentu.

Dosis aplikasi yang lebih tinggi dapat mempengaruhi volume tanah yang dipupuk dengan cara berikut ini:

- a) jumlah hara yang digerakkan oleh aliran massa dan difusi lebih banyak, memperluas volume tanah yang dipupuk;
- b) jarak antar setiap granula atau tetesan pupuk lebih kecil, dan saat dosisnya menjadi cukup tinggi, tercipta zona dipupuk yang berkesinambungan—penting untuk meningkatkan penyebaran akar tanaman yang tanpa gangguan;
- c) zona dipupuk memiliki umur yang lebih panjang.

Frekuensi aplikasi yang lebih sering dapat meningkatkan volume tanah yang terkena pupuk, namun ini bergantung pada dosis yang diterapkan. Dosis yang lebih tinggi diperlukan untuk mempertahankan kesuburan zona yang terkena pupuk untuk waktu yang lebih lama.

Ada dua pilihan utama penempatan untuk aplikasi hara yang berulang: 1) tempatkan hara pada titik yang sama

sepanjang waktu atau 2) tempatkan pada titik yang berbeda-beda (**Gambar 6.4**). Mengaplikasikan hara yang tak bergerak (*immobile*) seperti P dan K pada zona yang sama sepanjang waktu akan meningkatkan konsentrasinya dan menyebabkan volume tanah subur yang lebih besar saat hara berdifusi keluar; namun, volume tanah yang tidak terpupuk dapat habis. Memupuk zona tanah yang berbeda merupakan cara lain untuk meningkatkan volume tanah subur (terkena pupuk). Terdapat beberapa pilihan. Sebagai contoh, aplikasi melalui cara penyebaran dan lajur dapat dikombinasikan dan/atau lajur dapat diaplikasikan pada titik yang berbeda seiring waktu. Saat cara lajur diaplikasikan pada titik yang berbeda, hasilnya merupakan suatu jaringan lajur dalam tanah yang memiliki umur dan sisa umur yang bervariasi.

Kebutuhan tanaman panen awal musim. Pada awal musim, sistem akar muda terbatas jangkauannya, menjelajahi hanya sebagian kecil dari volume tanah. Di samping itu, laju *influx* mungkin lebih tinggi pada waktu ini dibandingkan waktu lainnya sepanjang musim, yang menyebabkan cepat habisnya hara dalam tanah di sekitar akar tanaman. Cepat habisnya hara tanaman memerlukan transportasi hara yang lebih cepat ke akar untuk penambahan, baik melalui laju massa ataupun difusi. Namun demikian, kondisi lingkungan di awal musim, terutama suhu rendah, dapat membatasi pertumbuhan tunas dan juga laju transportasi hara.

Penaburan hara dari waktu ke waktu (pengolahan konservasi)



Penempatan hara lajur pada tempat yang sama dari waktu ke waktu



Penempatan hara lajur pada tempat berbeda dari waktu ke waktu



Bertambahnya waktu →

Gambar 6.4 Perubahan pada zona yang diperkaya pupuk dari waktu ke waktu timbul sejalan dengan aplikasi berulang untuk hara tak gerak (*immobile*) seperti P dan K. Pewarnaan lebih gelap menandakan konsentrasi lebih tinggi. Kecenderungan ini berlaku untuk sistem pengolahan tanah konservatif dimana pencampuran tanah dilarang. Perubahan penting lainnya (tidak ditunjukkan) yang mungkin termasuk akumulasi hara dekat permukaan yang timbul dari deposisi residu tanaman, dan distribusi ulang hara oleh organisme tanah seperti cacing tanah

Pertanyaan



5. Untuk tanah dengan defisiensi P, jika hanya P dengan dosis rendah akan diaplikasikan pada jagung atau gandum, seharusnya
 - a. diaplikasikan pada daun.
 - b. aplikasi lajur dekat bibit saat penanaman.
 - c. melalui penyebaran dan dibiarkan tanpa pencampuran.
 - d. melalui penyebaran dan digabungkan dengan pengolahan.

6. Untuk tanah dengan kesuburan rendah, aplikasi lajur dengan dosis hara rendah
 - a. meningkatkan volume tanah yang dipupuk saat hara berdifusi keluar.
 - b. memenuhi kebutuhan hara total tanaman.
 - c. pemupukan volume tanah yang besar untuk mendapatkan hasil panen maksimal.
 - d. menghasilkan efisiensi pemakaian tinggi untuk hara yang diaplikasikan.

7. Posisi penempatan pupuk yang memberikan akses akar tanaman pada awal musim dan menyediakan hara P yang baik untuk jagung adalah
 - a. 5 cm di samping dan 5 cm dibawah bibit.
 - b. kontak langsung dengan benih.
 - c. berada tepat di bawah bibit.
 - d. disebar dan dicampur secara menyeluruh.

Strategi penempatan hara untuk mengatasi defisit hara di awal musim yang mungkin terjadi adalah dengan menaburkan hara pada lajur atau dekat bibit saat penanaman. Lajur tersebut dapat: 1) mengkonsentrasikan persediaan hara; 2) meningkatkan laju transportasi hara ke akar; 3) memposisikan secara strategis agar dapat diakses oleh sistem akar muda yang masih terbatas; dan 4) mengembangkan akar jika N atau P digunakan.

Lokasi yang tepat untuk volume tanah terkonsentrat sebagian besar tergantung pada arsitektur akar dari tanaman muda yang bersangkutan. Sebagai contoh, penempatan paling efektif hara P untuk jagung dan gula bit adalah konsisten dengan distribusi akar pada **Gambar 6.1**. Untuk jagung, penelitian telah mengungkapkan bahwa meletakkan hara di samping dan di bawah bibit merupakan posisi yang baik untuk akses sistem perakaran awal musim dan hara tanaman, menghasilkan tanggap tanaman yang sama atau lebih besar daripada metode penempatan lainnya. Penempatan pada bawah dan samping bibit konsisten dengan arsitektur akar tanaman jagung muda yang horizontal secara dominan. Untuk gula bit, penempatan P yang kontak langsung dengan bibit telah dibuktikan sangat efektif dan efisien (Sims, 2010). Penempatan yang demikian memastikan akses tanaman ke pupuk dengan akar utama yang berorientasi vertikal dengan akar lateral yang di sekitarnya.

Penempatan hara dekat bibit harus dilakukan dengan pertimbangan yang menyeluruh mengenai dosis dan bentuk, terutama dengan penempatan pada lubang bibit. Kerusakan pada bibit atau biji dapat diakibatkan oleh toksisitas amonia ataupun kelebihan garam. Faktor-faktor yang penting untuk dipertimbangkan saat menentukan dosis aman maksimum untuk penempatan pupuk pada bibit antara lain (Gelderman, 2011):

- kepekaan kecambah;
- indeks garam pupuk;
- lebar bukaan parit pembibitan;
- tekstur tanah;
- kelembaban tanah saat penanaman;
- jumlah kehilangan yang dapat ditolerir.

Bera atau penggenangan. Kedua musim bera maupun masa pengairan yang berkepanjangan selama seminggu atau lebih mengurangi populasi jamur mikoriza dalam tanah. Ketika simbiosis tanaman-jamur telah dipengaruhi, terdapat ketidakmungkinan untuk mengatasi kurangnya kontribusi hara P dari mikoriza hanya dari peningkatan dosis P. Kekurangan P mungkin terlalu besar. Karena pengaruhnya terbatas pada satu musim tanam, aplikasi lajur dengan dosis P lebih rendah merupakan pilihan yang praktis untuk setidaknya mengatasi sebagian kekurangan P untuk tanaman.

Kehilangan hara. Peletakan hara di bawah permukaan tanah dapat mengurangi kehilangan hara yang dapat merusak lingkungan dengan berbagai cara. Penempatan di bawah permukaan dapat:

- mengurangi kehilangan melalui aliran permukaan, yang diakibatkan oleh konsentrasi permukaan hara larut-air yang lebih rendah;
- mengurangi kehilangan saat dikombinasikan dengan pengendalian erosi, karena hara ditempatkan di bawah permukaan;
- mengurangi kehilangan jangka pendek dari N dalam bentuk gas, seperti N_2O , tergantung pada jumlah curah hujan dan distribusinya.

Interaksi dalam lajur. Saat hara terkandung dalam jumlah volume tanah yang sama, hara dapat berinteraksi dengan cara yang tidak memungkinkan saat diaplikasikan pada lokasi yang berbeda. Interaksi yang demikian timbul tidak hanya dari jarak yang berdekatan tetapi juga dari konsentrasi yang lebih tinggi. Reaksi awal dari pupuk pada volume yang padat hara dapat sedikit dipengaruhi oleh tanah di sekitarnya. Kebanyakan proses yang terjadi pada aspek kimia yang unik pada volume terkonsentrasi pada tanah berasal dari penelitian lajur bawah permukaan. Interaksi-interaksi berikut ini telah diterapkan:

- aplikasi NH_4^+N dengan P dalam lajur yang sama dapat meningkatkan serapan P oleh tanaman dibandingkan dengan mengaplikasikan kedua bahan ini dalam lajur terpisah;
- aplikasi urea baik dengan MAP ataupun TSP dalam satu lajur telah menunjukkan dapat mengurangi kehilangan NH_3 , pH awal MAP atau TSP yang rendah menyebabkan efek ini, namun perhatikan bahwa bukan tidak mungkin cukup besar untuk penggunaan urea dalam lajur dekat jalur bibit pada tanah dengan pH netral sampai alkalin (agak basa);
- pengaplikasian KCl pada lajur yang sama dengan MCP telah dibuktikan dapat mengurangi difusi P dari lajur pupuk pada tanah yang kurang lapuk dengan kadar Ca tinggi;
- pengaplikasian KCl pada lajur yang sama dengan MCP dalam asam, tanah lapuk dapat meningkatkan laju difusi P, bukan menguranginya.

6.4 Pemupukan Daun

Pemupukan melalui daun merupakan aplikasi hara terhadap daun tanaman. Meskipun fungsi utamanya merupakan fotosintesis dan pernafasan, daun tanaman juga menyerap hara, meskipun jumlah yang diserap biasanya jauh lebih sedikit dari yang diserap oleh akar, yang merupakan organ utama untuk serapan hara. Daun tanaman dapat menyerap hara jika dihadirkan dalam bentuk 1) gas ataupun 2) ion dalam larutan.

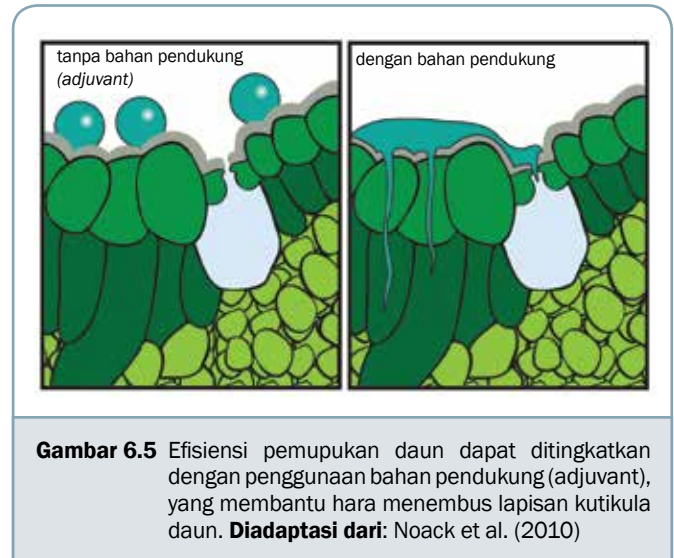
Hara dalam bentuk gas memasuki daun melalui stomata. Stomata merupakan pori-pori dimana hampir semua pertukaran gas terjadi antara tanaman dengan udara. Kebanyakan stomata terletak pada sisi bagian bawah dari daun tanaman. Sel-sel di sekitar pori-pori ini, dinamakan sel penjaga, dapat membuka dan mengecil untuk mengatur ukuran dari bukaan pori-pori beserta laju pertukaran gas. Hidrogen, N, O, dan S dapat memasuki tanaman melalui stomata ketika dalam bentuk gas amonia (NH_3), nitrogen dioksida (NO_2), dan sulfur dioksida (SO_2). Sebagai contoh, pengaplikasian pupuk kandang dapat menghasilkan serapan besar N sebagai NH_3 . Karena stomata merupakan tempat pertukaran gas, hara juga dapat hilang sebagai NH_3 , SO_2 , dan bentuk S volatil (yang menguap) lainnya.

Hara dalam larutan memasuki tanaman melalui pori-pori kecil pada lapisan kutikula pada epidermis daun. Kutikula dilindungi oleh suatu lapisan lilin yang tahan air dan melindungi daun dari penguapan air yang berlebih. Pori-pori pada lapisan kutikula berbeda dengan stomata, namun lebih banyak yang terdapat dekat stomata daripada pada permukaan daun antar stomata. Epidermis yang berlapis lilin dan kecilnya ukuran pori-pori pada kutikula sangat membatasi jumlah hara larut air yang dapat diserap oleh daun tanaman. (**Gambar 6.5**).

Pemupukan daun terjadi dengan hara yang terlarut dalam air. Faktor-faktor yang dapat membatasi efisiensi dan efektifitas pemupukan ini antara lain (Marschner, 2002):

- lapisan kutikula daun yang lebih tebal, seperti pada tanaman kopi dan citrus;
- aliran permukaan pupuk cair dari daun tanaman;
- tercucinya pupuk cair oleh hujan;
- pengeringan pupuk cair pada daun;
- pemindahan sebagian hara yang terbatas dari daun yang dipupuk ke bagian tanaman yang lain;
- kerusakan pada daun yang karena ketidakseimbangan hara lokal pada daun, disebabkan oleh aplikasi pupuk.

Aplikasi pada daun menciptakan persediaan hara lokal dalam jumlah kecil yang memiliki durasi efektif pendek, umumnya beberapa hari sampai dua minggu. Oleh karena itu, pengaplikasian harus dijadwalkan sesuai dengan



Gambar 6.5 Efisiensi pemupukan daun dapat ditingkatkan dengan penggunaan bahan pendukung (adjuvant), yang membantu hara menembus lapisan kutikula daun. **Diadaptasi dari:** Noack et al. (2010)

kebutuhan tanaman. Tergantung pada situasi dan kondisi, dapat dibutuhkan lebih dari satu aplikasi atau suatu seri pengaplikasian pupuk.

Pemupukan daun dapat merupakan praktek yang efektif ketika ketersediaan hara dalam tanah terbatas atau kemampuan tanaman untuk mendapatkan atau memindahkan hara dalam keadaan terbatas. Pemupukan daun dapat digunakan sebagai perlakuan penyelamatan untuk situasi dimana tidak memungkinkan untuk pengelolaan hara tanah yang tepat, mendapatkan jenis atau hibrida yang paling cocok untuk tanah dengan kondisi atau defisiensi tertentu, ataupun melakukan kegiatan lapangan tepat pada waktunya.

6.5 Mengatur Variabilitas Spasial

Selain penempatan pada tanah atau pada tanaman, “tepat tempat” juga mencakup skala besar untuk penempatan hara dalam suatu area. Area ini dapat berupa daerah aliran sungai (*watershed*), peternakan, lapangan, atau area dalam kebun. Pengelolaan pada lokasi tertentu merupakan suatu pendekatan yang membagi suatu area yang luas menjadi beberapa area yang lebih kecil dan mengatur setiap area secara terpisah dengan cara yang paling tepat. Dengan demikian pengelolaan lokasi tergantung pada pengukuran yang diambil pada kepadatan spasial lebih tinggi daripada pendekatan konvensional. Resolusi spasial yang lebih tinggi menciptakan penggambaran yang lebih akurat untuk wilayah bermasalah demikian juga untuk wilayah yang produktifitas tinggi, sehingga memudahkan pengelola untuk lebih terarah.

Aplikasi dengan dosis bervariasi (*variable rate applications/VRA*) merupakan salah satu cara dalam praktek pengelolaan yang membentuk pengelolaan lokasi tertentu. Aplikasi dengan dosis bervariasi bertujuan untuk mengaplikasikan dosis hara yang tepat pada tempat yang tepat dalam kebun yang lebih besar.

VRA yang umum untuk rekomendasi hara berbasis uji tanah dapat mencakup langkah-langkah berikut ini:

- a) mengumpulkan sampel tanah pada lokasi khusus dan merekam lokasi geografis (*latitude* dan *longitude*) dari setiap titik sampling, menggunakan alat GPS yang merekam data tersebut dari jaringan satelit;
- b) mengirimkan sampel tanah ke laboratorium untuk analisis hara lengkap serta karakteristik kimia maupun fisika lainnya yang penting untuk menyusun rekomendasi hara;
- c) menyusun peta yang secara matematis mengisi (menginterpolasi) perkiraan tingkat uji tanah di antara titik sampling aktual. Pembuatan peta ini dilakukan dengan perangkat lunak GIS (*Geographic Information System*) khusus yang memiliki kemampuan untuk analisis geostatistik;
- d) mengumpulkan data pendukung lainnya yang diperlukan untuk sistem rekomendasi hara tertentu. Data tersebut dapat berupa peta tekstur tanah, konduktivitas listrik tanah, topografi, gambaran satelit tanah, indeks vegetasi (*normalized difference vegetation index/NDVI*), dosis aplikasi serta wilayah aplikasi pupuk kandang sebelumnya, jenis tanaman sebelumnya dan/atau produksi;
- e) menggunakan perangkat lunak GIS untuk mengintegrasikan semua data masukan kepada suatu peta dosis rekomendasi hara;
- f) menggunakan komputer yang terpasang pada alat aplikasi untuk memindahkan informasi pada peta rekomendasi kepada alat kontrol yang membedakan jumlah hara yang diaplikasikan saat alat aplikasi digerakkan di lapangan/kebun. Alat aplikasi juga dapat merekam jumlah dan lokasi setiap hara yang diaplikasikan, yang kemudian dapat digunakan untuk perbandingan antara rekomendasi dan pengaplikasian oleh alat.

VRA yang umum untuk rekomendasi N berbasis pengukuran tanaman dapat mencakup langkah-langkah berikut ini (Raun et al., 2002):

- a) pada suatu lajur yang melintasi kebun, aplikasikan sejumlah N yang cukup tinggi agar tidak membatasi jumlah panen;
- b) mengumpulkan data reflektansi spektral pada tahap pertumbuhan tanaman tertentu dari kedua lajur N yang tidak membatasi dan lajur di sebelahnya dimana diaplikasikan N dengan kadar yang biasanya digunakan. Konversikan data reflektansi spektral dari kedua lajur untuk mendapatkan hasil NDVI rata-rata, lalu hitung indeks tanggap (*Response Index/RI*);

Pertanyaan



8. Mengaplikasikan N dalam bentuk amonia dengan pupuk P pada lajur yang sama dapat
 - a. meningkatkan serapan tanah terhadap P yang diaplikasikan.
 - b. meningkatkan serapan K oleh tanaman.
 - c. meningkatkan serapan P oleh tanaman.
 - d. mengurangi serapan N oleh tanaman.
 9. Hara terlarut yang diaplikasikan sebagai pupuk daun dapat diserap oleh daun melalui
 - a. pori-pori stomata.
 - b. pori-pori kecil pada lapisan kutikula.
 - c. kerusakan daun.
 - d. hanya sel penjaga.
 10. Pembuatan peta untuk aplikasi bervariasi dosis termasuk menginterpolasi tingkat uji tanah yang diukur pada titik sampling tertentu dalam kebun. Perangkat lunak yang digunakan untuk interpolasi ini disebut
 - a. GIS.
 - b. GPS.
 - c. NDVI.
 - d. VRA.
- c) menggunakan algoritma rekomendasi untuk mengkonversikan RI menjadi peta dosis rekomendasi N;
- d) menggunakan komputer yang terpasang pada alat aplikasi untuk memindahkan informasi pada peta rekomendasi kepada alat kontrol yang membedakan jumlah hara yang diaplikasikan saat alat aplikasi digerakkan di lapangan.

Pengelolaan hara spesifik-lokasi juga dapat diperluas dengan skala lebih besar untuk menempatkan hara pada tempat yang tepat dalam daerah aliran sungai (DAS) untuk mengurangi hilangnya hara. Sebagai contoh, indeks fosfor (*phosphorus index/PI*) dapat digunakan untuk penggambaran area sumber kritis (*critical source areas/CSA*) dalam suatu daerah aliran sungai (Gburek et al., 2000). CSA ini lebih rentan terhadap kehilangan P dan merupakan bagian penting dari hidrologi daerah aliran sungai. Dengan mengarahkan pembenahan pengelolaan pada area ini, seperti menghilangkan atau mengurangi aplikasi P atau menempatkan P lebih dalam di tanah, dapat mengurangi kehilangan P dari keseluruhan daerah aliran sungai. Untuk lebih banyak informasi mengenai Indeks P, lihat Bagian 9.8.2.

PUSTAKA

- Akinremi, O.O. and C.M. Cho. 1993. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:845-850.
- Barber, S.A. 1995. *Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach*. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, NY.
- Barber, S.A. 1978. *Agron. J.* 70:457-461.
- Bouldin, D.R. et al. 1960. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 24:464-468. Claassen, H. and S.A. Barber. 1977. *Agron. J.* 69:860-864.
- Daverede, I.C. et al. 2004. *J. Environ. Qual.* 33:1535-1544.
- Drew, M.C. 1975. *New Phytol.* 75:479-490.
- Eghball, B. et al. 1990. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1161-1165.
- Eghball, B. and D.H. Sander. 1987. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1350-1354.
- Ernani, P.R. and S.A. Barber. 1991. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:534-538.
- Fan, M.X. and A.F. Mackenzie. 1993. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:839-845.
- Gburek, W. J. et al. 2000. *J. Environ. Qual.* 29:130-144.
- Gelderman, R. 2011. Seed-placed fertilizer decision aid. [On-line]
- Isensee, A.R. and L.M. Walsh. 1971. *J. Agric. Food Chem.* 22:105-109.
- Isensee, A.R. and L.M. Walsh. 1972. *J. Agric Food Chem.* 23:509-516.
- Kaspar, T.C. et al. 1991. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1390-1394.
- Khasawneh, F.E. et al. 1974. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:446-451.
- Khasawneh, F.E. et al. 1979. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:52-58.
- Kimmel, R.J. et al. 2001. *J. Environ. Qual.* 30:1324-1330.
- Lawton, K. and J.A. Vomocil. 1954. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 18:26-32.
- Lynch, J. 1995. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol.* 109:7-13.
- Malakanova, V.P. et al. 2009. In A.A. Romanenko et al. (eds.). *Genetics, Breeding and Maize Cultivation Technology*. Krasnodar Res. Inst. of Agriculture, Krasnodar. 232-239. (In Russian).
- Marschner, H. 2002. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd ed. Academic Press, New York, NY.
- Mengel, D.B. and S.A. Barber. 1974. *Agron. J.* 66:399-402.
- Miller, M.H. and A.J. Ohlrogge. 1958. *Agron. J.* 50:95-97.
- Noack, S.R. et al. 2010. *Crop and Pasture Science.* 61:659-669.
- Pierret, A. et al. 2007. *Vadose Zone J.* 6:269-281.
- Randall, G.W. and R.G. Hoelt. 1988. *J. Prod. Agric.* 1:70-79.
- Raun, W.R. et al. 2002. *Agron. J.* 94:815-820.
- Sample, E.C. et al. 1979. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:58-65.
- Sharp, R.E. et al. 1988. *Plant Physiol.* 87:50-57.
- Sims, A.L. 2010. *Agron. J.* 102:1369-1378.
- Sistani, K.R. et al. 2010. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74:429-435.
- Stecker, J.A. and J.R. Brown. 2001. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 32:803-819.
- Stecker, J.A. et al. 2001. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1173-1183.
- Walker, J.M. 1969. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33:729-736.
- Wang, Y. et al. 2009. *Aust. J. Soil Res.* 47:529-536.
- Weaver, J.E. 1926. *Root development of field crops*. McGraw-Hill, New York, NY.
- Wetterauer, D.G. and R.J. Killorn. 1996. *J. Prod. Agric.* 9:39-41.
- Zhang, J. and S.A. Barber. 1992. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:819-822.
- Zhou, Z.D. et al. 2006. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:2057-2064.

CATATAN

Modul 6.2-1 Penempatan pupuk nitrogen mempengaruhi pertumbuhan gulma dan kompetisi dengan gandum musim semi di Alberta, Kanada. Menyesuaikan penempatan dan waktu pemupukan dapat memberi dampak yang besar pada produktivitas tanaman. Pada beberapa lingkungan, gulma kebun yang umum lebih responsif terhadap pupuk nitrogen (N) daripada tanaman seperti gandum atau kanola. Pengelolaan pupuk penting agar manfaat kompetitif diperoleh tanaman dan bukan kepada gulma. Sebuah penelitian yang berlangsung selama 4 tahun dilaksanakan di Alberta, Kanada untuk menelaah kompetisi antara spring wheat dan empat gulma umum saat 50 kg N/ha (sebagai amonia nitrat) diaplikasikan:

Penempatan pupuk: Penyebaran pada permukaan tanah
 Aplikasi lajur pada kedalaman 10 cm diantara setiap lajur gandum
 Aplikasi lajur pada kedalaman 10 cm berselang di antara setiap lajur gandum
 Titik injeksi larutan pada interval 20 cm dan pada kedalaman tanah 10 cm
 (dengan alat percobaan)

Jadwal pemupukan: Oktober atau Mei pada tiap tahun

Bibit dari empat species gulma disebar pada permukaan tanah pada tahun pertama (sebagai contoh: *wild oat*, *green foxtail*, *wild mustard*, atau *common lambquarters*). *Spring wheat* ditanam pada bulan Mei setiap tahunnya dan dipanen saat matang.

GULMA: Konsentrasi N lebih besar pada *wild mustard* dan *common lambsquarters* daripada pada *wild oat* dan *green foxtail*. Hal ini membuktikan bahwa gulma berdaun lebar bersifat sangat kompetitif dalam menyerap N tanah pada lingkungan ini. Penempatan pupuk N secara umum lebih penting daripada waktu pengaplikasian untuk konsentrasi N gulma. Konsentrasi N pucuk gulma secara umum paling besar dengan aplikasi pupuk pada permukaan tanah, dan paling rendah dengan pemupukan melalui titik injeksi.

Populasi gulma secara umum lebih rendah dengan N yang diaplikasikan pada musim semi daripada saat pupuk diaplikasikan pada musim gugur. Populasi gulma juga secara umum lebih besar saat pupuk disebar pada permukaan tanah. Pertumbuhan gulma selalu lebih rendah pada perlakuan kontrol tanpa pupuk.

GANDUM: Konsentrasi N pada pucuk gandum dipengaruhi secara positif oleh metode aplikasi pupuk, namun bukan oleh waktu pengaplikasian. Populasi tanaman gandum tidak dipengaruhi oleh waktu atau penempatan pupuk N.

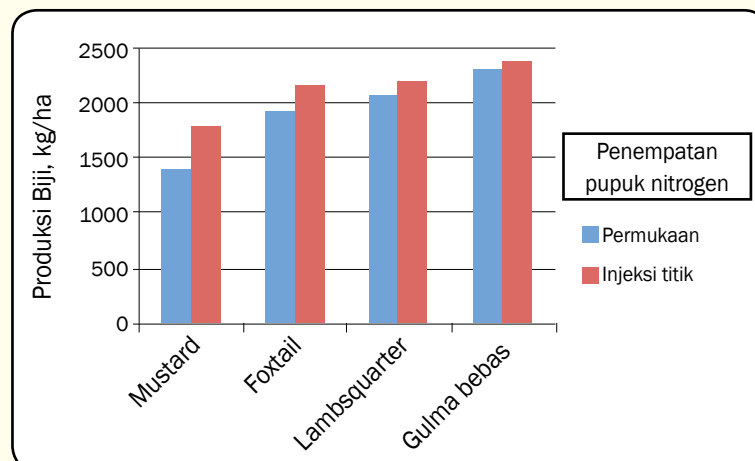
Metode aplikasi N memiliki dampak pada produksi gandum saat ditemukan adanya gulma (**Gambar 1**). Hasil gandum secara umum lebih besar dengan penempatan pupuk N dibawah permukaan tanah dibandingkan dengan aplikasi pada permukaan. Di antara penempatan pupuk dibawah tanah, N dengan injeksi titik selalu menghasilkan produksi gandum tertinggi.

Metode aplikasi pupuk N secara umum memiliki pengaruh besar pada kompetisi pertumbuhan gulma dan tanaman. Menyebar pupuk N pada permukaan tanah merupakan metode yang paling sedikit diminati. Mengisolasi pupuk N pada suatu volume kecil pada tanah memberi keuntungan untuk membatasi pertumbuhan gulma sembari mendukung produksi gandum yang lebih tinggi.

Informasi lebih mendalam untuk kajian ini tersedia pada publikasi:

Blackshaw et al. 2004. Nitrogen fertilizer timing and application method affect weed growth and competition with spring wheat. *Weed Sci.* 52:614-622.

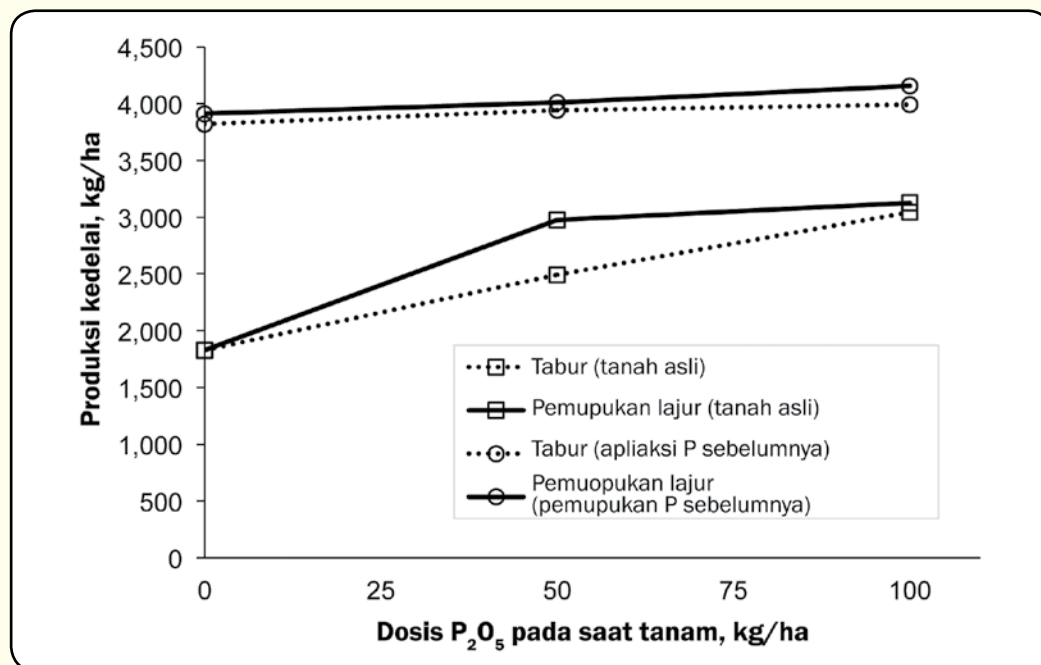
Disampaikan oleh R. Mikkelsen, IPNI, USA, August 2013.



Gambar 1. Pengaruh penempatan pupuk dan species gulma pada produksi rata-rata gandum musim semi selama 4 tahun. Data diambil rata-rata dari waktu aplikasi pupuk musim semi dan musim gugur

Modul 6.3-1 Penempatan fosfor untuk kedelai yang ditanam pada tanah tropis. Tanah tropis secara umum memiliki kandungan P rendah, suatu kondisi yang dapat sangat membatasi perkembangan tanaman dan produksi, terutama untuk tanaman dengan kebutuhan P tinggi seperti kedelai. Karena tingginya kapasitas fiksasi untuk tanah ini, aplikasi P harus dikelola dengan suatu cara agar dapat meminimalkan kompetisi memperoleh P antara tanah dan tanaman, sehingga memaksimalkan serapan P. Aplikasi lajur di bawah permukaan tanah disarankan untuk kondisi seperti ini.

Sebagai contoh, **Gambar 1** menunjukkan pengaruh penempatan pupuk pada produksi biji kedelai pada dua kondisi tanah: kandungan P rendah (tanah alami) dan kandungan P tinggi (sebelumnya telah menerima aplikasi tabur 200 kg P_2O_5 /ha yang dicampurkan pada lapisan 20 cm teratas). Untuk tanah dengan kandungan P rendah, pengaruh positif dari aplikasi lajur dibandingkan tabur P memungkinkan rendahnya dosis aplikasi untuk mencapai produksi maksimum. Di sisi lain, pada tanah yang telah dicampurkan dengan aplikasi penyebaran pupuk sebelumnya, metode aplikasi (lajur atau tabur) tidak dapat dibedakan karena kompetisi untuk P yang tersedia sudah berkurang dan tersedia lebih banyak P untuk tanaman yang tumbuh.



Gambar 1. Produksi biji kedelai sebagai pengaruh dari aplikasi P tabur atau lajur pada dua kondisi tanah berbeda (tanah alami rendah P dan tanah dengan aplikasi P sebelumnya) (Research Foundation MT, 2011 - data tidak dipublikasikan)

Disampaikan oleh E. Francisco, IPNI, Brazil, January 2013.

Modul 6.3-2 Tempatkan fosfor dalam tanah untuk melindungi kualitas air di Danau Erie. Fosfor (P) merupakan hara penting untuk tanaman yang sedang tumbuh. Namun konsentrasi berlebih dalam aliran air, sungai dan danau dapat mengakibatkan pertumbuhan ganggang. Pada daerah aliran sungai (*watershed*) Danau Erie dan sekitar negara bagian Ohio, Amerika Serikat, kadar P terlarut dalam sungai dan pertumbuhan ganggang dalam danau telah cenderung meningkat dari 1995 ke 2011. Pupuk yang diaplikasikan ke pola tanam yang didominasi oleh jagung dan kedelai ini bukan menjadi penyebab utama, tetapi hanya satu dari sekian banyak kasus yang memungkinkan. Jika memungkinkan, petani dianjurkan untuk mengaplikasikan pupuk P di dalam tanah daripada hanya ditebarkan di permukaan tanah, untuk dua alasan utama.

Pertama, dengan menanamkan pupuk sedalam 2 inci di bawah permukaan tanah membantu untuk meminimalkan “stratifikasi” pupuk P ke dalam profil tanah (**Gambar 1**). Stratifikasi antara P dengan tanah dapat terjadi pada tanah yang tidak dicangkul dengan menggunakan bajak (*moldboard*). Jika hasil uji partikel P pada bagian teratas setebal 2 inci meningkat, maka konsentrasi P yang larut dalam aliran permukaan juga meningkat.

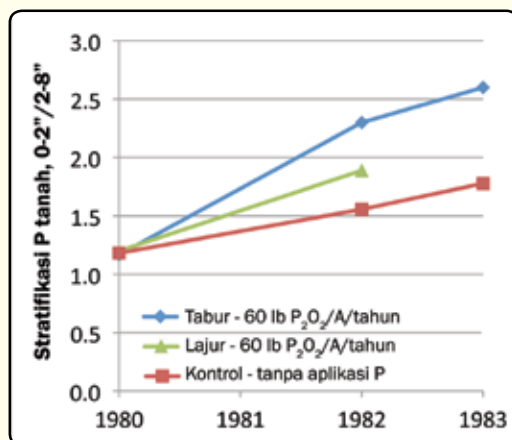
Kedua, pupuk P merupakan P larut air. Menempatkannya pada permukaan tanah akan meningkatkan konsentrasi P yang larut dalam aliran air yang terjadi sesaat setelah pengaplikasian. Seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2**, aplikasi pupuk P pada permukaan menyebabkan peningkatan konsentrasi P pada aliran air dibandingkan dengan yang ditanamkan dalam tanah. Pembenaan pupuk P juga meminimalkan kadar P dalam aliran air.

Pencampuran pupuk P dapat meningkatkan kehilangan P total melalui peningkatan erosi. Penempatan P dalam tanah yang minimum gangguan merupakan hal penting untuk mengendalikan hilangnya kadar P yang terlarut maupun kadar P total. Petani yang inovatif (cerdas) mengkombinasikan teknik pengolahan konservatif seperti zona pengolahan dengan penempatan P untuk menjaga pola tanam yang produktif dengan meminimalkan kehilangan hara.

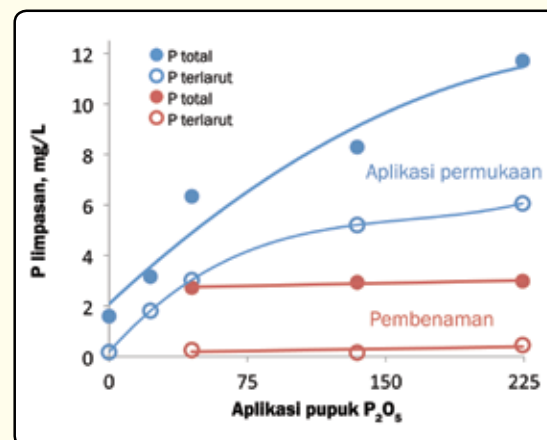
Pustaka

Eckert, D.J. and J.W. Johnson. 1985. *Agron. J.* 77:789-792.

Tarkalson, D.D. and R.L. Mikkelsen. 2004. *J. Environ. Qual.* 33:1424–1430.



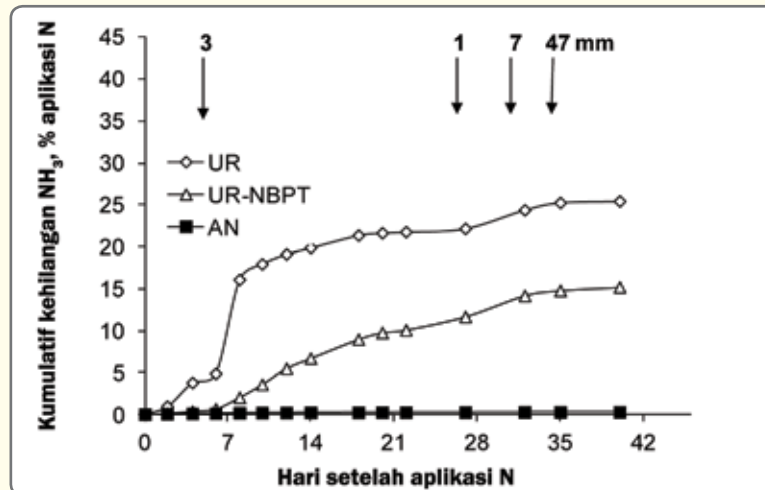
Gambar 1. Stratifikasi P pada tanah – didefinisikan sebagai rasio uji P tanah pada lapisan atas 2 inci dengan lapisan yang terdapat di kedalaman 2 sampai 8 inci – meningkat dari waktu ke waktu dengan aplikasi tabur dibandingkan dengan aplikasi lajur. Tanah lempung berdebu di dekat Wooster, Ohio; ditanami jagung secara terus menerus, tanpa pengolahan sejak musim semi 1980. Data dari Eckert & Johnson (1985)



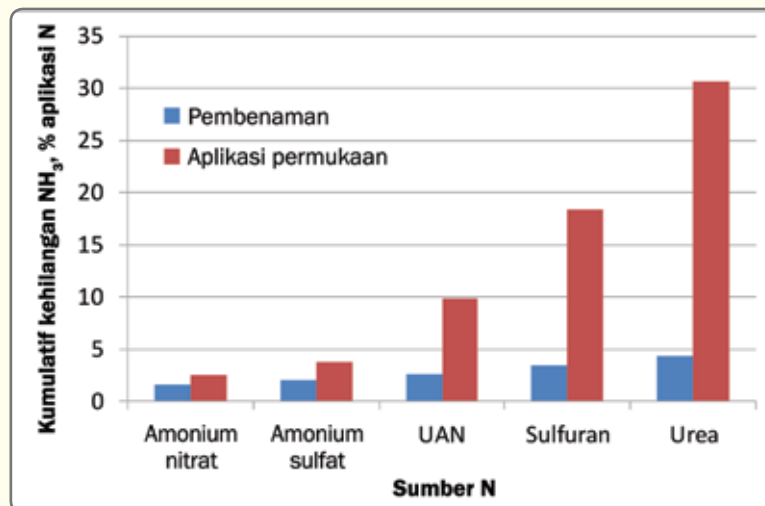
Gambar 2. Konsentrasi kadar P terlarut dan kadar P total dalam aliran permukaan dari tanah lempung berliat di North Carolina, dari hujan buatan yang terjadi sesaat setelah pengaplikasian pupuk superfosfat. Pupuk dibenam sedalam 5 inci dengan menggunakan roda putar pengolahan. Data dari Tarkalson & Mikkelsen (2004)

Disampaikan oleh T.W Bruulsema, IPNI, Canada, Mei 2013.

Modul 6.4-1 Meminimalkan kehilangan amonia dengan 'tepat tempat' untuk tebu dan jagung di Brazil. Untuk beberapa bentuk pupuk, hilangnya N melalui penguapan amonia (NH_3) dapat mengurangi efisiensi penggunaan N. Jumlah N yang menguap sangat bergantung pada sumber, penempatan, dan kondisi cuaca. Tebu telah lama dipanen di Brazil dengan cara potong-dan-bakar selama puluhan tahun. Belakangan ini, karena berbagai isu ekonomi dan lingkungan, banyak tebu yang dipanen secara mekanis dan ditanam dengan pengolahan tanah minimum, yang dengan berjalannya waktu mengakibatkan bertambahnya residu tanaman pada permukaan tanah. Pengukuran hilangnya NH_3 setelah aplikasi N pada permukaan tanah tebu mengungkapkan kehilangan yang tinggi saat urea merupakan sumber N (**Gambar 1**). Kehilangan dapat dikurangi, namun tidak dihilangkan dengan penggunaan inhibitor urease. Penelitian lain pada tanah yang ditanami jagung menunjukkan pengurangan besar pada hilangnya NH_3 saat pupuk yang mengandung urea digunakan pada tebu, jika dicampurkan atau dibenamkan pada tanah (injeksi atau penempatan lajur memungkinkan pada sistem tanpa pengolahan). Penggunaan inhibitor urease juga dapat membantu mengurangi kehilangan.



Gambar 1. Kumulatif kehilangan amonia dari urea (UR), amonium nitrat (AN) dan urea yang diperlakukan-NBPT (UR-NBPT) yang diaplikasikan pada permukaan pada tanah tebu yang tertutup sampah. Tanda panah menunjukkan jumlah (mm) dan tanggal curah hujan setelah aplikasi N. **Sumber:** Cantarella et al. (2008)



Gambar 2. Penguapan amonia dari sumber N yang berbeda pada tanaman jagung pada pengolahan konvensional. UAN = urea amonium nitrat; Sulfuran = UAN + amonium sulfat, cairan dengan 40% N dalam bentuk urea dan 40% sebagai amonium, dan 20% sebagai nitrat. **Sumber:** Lara-Cabezas et al. (1997)

Pustaka:

Cantarella, H. et al. 2008. *Scientia Agricola* 65(4):397-401.
Lara-Cabezas, W.A.R. et al. 1997. *Revista Brasileira Ciéncia Solo* 21:489-496.

Disampaikan oleh L. Prochnow, IPNI, Brazil, January 2012.

CATATAN



Bab 7

ADAPTASI PRAKTEK PADA KESELURUHAN KEBUN

PRINSIP UNIVERSAL 4T yang telah dibahas sebelumnya digunakan untuk memilih perlakuan-perlakuan dengan probabilitas tertinggi untuk mencapai tujuan pengelolaan dalam sistem penanaman dari spesifik-lokasi dan yang lebih luas, sosial, ekonomi, dan tujuan lingkungan dari perkembangan berkelanjutan. Setiap hasil praktek terbaik harus konsisten dengan prinsip dari keempat 'tepat'. Kondisi lokal dapat mempengaruhi keputusan pemilihan praktek yang akan digunakan, menuju dan termasuk pada hari implementasi.

7.1 Sistem Pertanaman

Praktek pengelolaan unsur hara selalu termasuk dalam sistem penanaman di dalamnya, dimana faktor lokasi dan pengelolaan lainnya seperti pengelolaan, drainasi, pemilihan tanaman kultivasi, dan lain-lain dapat sangat mempengaruhi efektifnya suatu praktek tertentu. Faktor-faktor seperti potensi genetik, gulma, serangga, penyakit tanaman, mikoriza, tekstur dan struktur tanah, pH, drainase, pemadatan, salinitas, suhu, curah hujan dan radiasi matahari semuanya dapat mempengaruhi unsur hara tanaman dan efektifitas praktek pengelolaan unsur hara.

7.2 Manajemen Adaptif

Praktek terbaik bersifat dinamis dan turut berpengaruh seiring dengan berkembangnya pemahaman dan kesempatan dengan sains dan teknologi, serta pengalaman praktis mengajarkan kepada pengamat yang cerdas apa yang berhasil dan tidak berhasil dalam kondisi spesifik-lokasi. Thorup dan Stewart menuliskan pada tahun 1988:

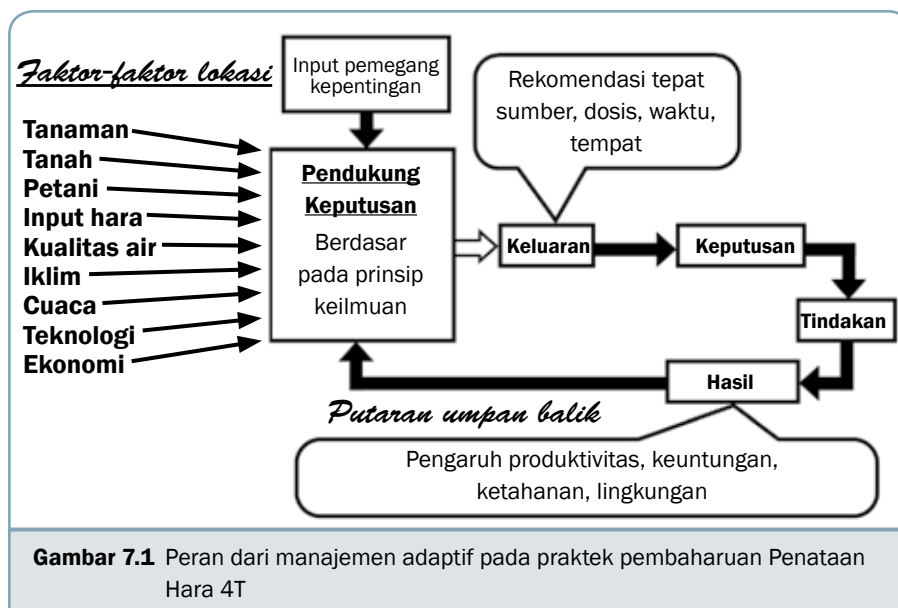
“Riset yang dilakukan di perkebunan universitas dan oleh peneliti profesional pada perkebunan petani merupakan hal sangat berharga. Namun, riset tersebut belum tentu berkaitan langsung dengan setiap perkebunan petani. Tanah memiliki variabilitas yang sangat besar dari satu perkebunan ke perkebunan lain. Praktek budidaya berbeda nyata dari satu petani ke petani yang lain. Bahkan faktor iklim dapat berbeda pada jarak yang pendek. Semua faktor ini mempengaruhi respons pada program pemupukan. Semua ini berarti bahwa operator perkebunan yang dapat bertahan pada 1990an dan seterusnya harus bereksperimen sedikit, melakukan pencatatan yang akurat, fleksibel terhadap program pemerintah, fluktuasi harga pasar dunia, dan kebutuhan konservasi tanah dan air.”

Meskipun istilahnya belum tercipta, para ahli agronomi ini telah mendeskripsikan pengelolaan unsur hara adaptif.

Pengelolaan adaptif didefinisikan pada Bab 2 sebagai proses berlanjut dari perlakuan perbaikan yang berkembang untuk produksi yang efisien dan konservasi sumber daya menggunakan pembelajaran partisipatif melalui asesmen (penilaian) sistematis berkelanjutan. **Gambar 7.1** merupakan versi penyederhanaan dari **Gambar 2.3** yang berfokus pada pemilihan perlakuan pada tingkat perkebunan menggunakan proses manajemen unsur hara adaptif. Dukungan keputusan berbasis ilmiah memfasilitasi integrasi berbagai faktor yang spesifik-lokasi dan masukan dari pemegang kepentingan menjadi sebuah rekomendasi yang tepat sumber, dosis, waktu, dan tempat. Rekomendasi ini menuju pada keputusan manajemen untuk pemilihan perlakuan dan kegiatan pendukungnya. Seiring berjalannya waktu, produktivitas, profitabilitas, dan dampak lingkungan dapat diketahui dan efisiensi penggunaan sumber daya dapat ditentukan. Dengan tambahan waktu, durabilitas sistem menggunakan perlakuan di tempat menjadi nyata dan pengalaman kolektif menjadi umpan balik pada proses pembuatan keputusan, memungkinkan prediksi dimasa mendatang yang lebih baik berkenaan dengan tepat sumber, dosis, waktu dan tempat dan pemilihan kegiatan pendukung. Pada teorinya, setiap siklus yang dilewati memiliki potensi untuk menghasilkan keputusan yang lebih baik dan perlakuan yang lebih tepat. Idealnya, penilaian kinerja perlakuan dilakukan dengan basis semua indikator yang dianggap penting bagi para pemegang kepentingan. Tantangan dalam proses ini adalah untuk tidak bereaksi berlebihan terhadap observasi musiman dan semua data yang mungkin dapat dikumpulkan. Hambatan unik dari suatu musim pertumbuhan tertentu dapat menghasilkan dampak kegiatan yang memiliki kemungkinan kecil akan terulang. Oleh sebab itu, akan lebih bijaksana untuk melihat observasi-observasi lapangan melalui kacamata prinsip ilmiah sebelum membuat perubahan signifikan pada perlakuan.

Berbagai kemungkinan faktor lokasi dapat mempengaruhi apa yang akan membentuk rangkaian perlakuan terbaik untuk praktek pada lokasi tertentu dan mengungkapkan mengapa fleksibilitas lokal sangat penting. Sebagai contoh (Fixen, 2007):

- faktor tanaman biasanya termasuk potensi panen dan nilai tanaman serta pada beberapa kasus konsentrasi unsur hara pada jaringan atau warna daun; yang sejalan dengan beberapa perlakuan kultur tanaman dapat mempengaruhi manajemen unsur hara;
- faktor tanah sering berkenaan dengan indeks penyediaan unsur hara tanah atau karakter fisik, kimiawi atau biologis lainnya yang mempengaruhi siklus unsur hara dan perkembangan tanaman;
- faktor petani termasuk kepemilikan tanah, ketersediaan modal, kesempatan, pengalaman/pendidikan petani dan penasehat lokal, atau filosofis tujuan manajemen unsur hara;
- faktor pemberian unsur hara menggabungkan informasi dari sumber yang tersedia seperti bentuk komersil atau limbah yang mengandung unsur hara, biaya pupuk, atau biaya aplikasi;
- faktor kualitas air termasuk pembatasan pada aplikasi unsur hara pada zona tepi sungai atau dekat badan air lainnya atau pertimbangan kualitas air tanah;
- faktor iklim menentukan beberapa tipe sistem pendukung berbasis model, sementara yang lain berkaitan dengan informasi cuaca yang hampir *real-time* untuk musim pertumbuhan tertentu dan prakiraan cuaca jangka pendek;
- teknologi relevan yang tersedia pada lokasi yang bersangkutan tentu dapat mempengaruhi definisi perlakuan terbaik (contohnya pada pembaruan dosis dan waktu aplikasi N pada tengah musim dapat dicapai dengan teknologi sensor elektronik pada beberapa kasus, dan dengan grafik warna daun, pada kasus lainnya);



- h) faktor ekonomi, terlepas dari yang langsung berhubungan dengan petani namun mempengaruhi pasar mendatang, dapat berdampak pada pemilihan keputusan unsur hara.

7.3 Dibalik Sistem Pertanian

Banyak manajer dari sistem tanaman—apakah mereka menjalankan perkebunan, peternakan, rumah kaca, maupun kegiatan operasional lainnya—terlibat dalam beberapa perusahaan. Seorang petani gandum mungkin saja juga memiliki usaha hewan ternak. Seorang penghasil jagung mungkin juga menanam dan menjual sayuran segar dari bagian yang berbeda dari perkebunannya. Seorang petani padi juga mungkin bekerja di kota untuk suatu pekerjaan yang tidak ada hubungannya dengan bertani. Ini merupakan situasi umum dan merupakan bagian dari dunia nyata pertanian. Situasi ini turut mempengaruhi keputusan terkait kegiatan yang diambil.

Perusahaan dapat berkompetisi satu sama lain untuk peralatan yang sama. Sebuah traktor yang dibutuhkan untuk aplikasi pupuk pada jagung juga mungkin diperlukan tak jauh dari situ untuk kegiatan panen, yang berkemungkinan mempengaruhi pemilihan waktu dan sumber pemupukan. Perusahaan juga dapat berkompetisi untuk waktu manajer. Pupuk N pelepasan terkendali (*controlled release*) dapat menjadi sumber yang dipilih karena pekerjaan di kota menghambat petani pada waktu optimum untuk melakukan aplikasi bertahap dari sumber N konvensional.

Keputusan praktek yang demikian harusnya selalu dilengkapi dengan sebuah ulasan dari pelengkapan prinsip 4T. Seringkali, suatu penyesuaian dari salah satu T karena faktor eksternal menyebabkan perlunya penyesuaian dari satu atau lebih dari T yang lain untuk kembali pada satu rangkaian praktek manajemen yang konsisten dengan prinsip 4T.

7.4 Dukungan Keputusan

Berbagai alat dapat dipergunakan oleh petani dan penasihatnya untuk membantu mengintegrasikan beragam faktor lokasi yang telah dibahas sebelumnya sebagai suatu pendekatan sistematis untuk membuat keputusan terkait kegiatan manajemen unsur hara. Perbaikan secara simultan (berkelanjutan) dari berbagai indikator kinerja potensial pada sistem penanaman bukan merupakan hal sepele dan peralatan untuk mendukung proses ini dapat menjadi sangat bermanfaat. Peralatan pendukung dapat melibatkan teknologi pada kebun yang minim dan tepat untuk daerah dengan pemilikan lahan kecil atau lebih tepat untuk daerah dengan akses yang baik terhadap teknologi canggih. Salah satu tantangan dari sistem pendukung yang berkembang adalah untuk mempertimbangkan secara tepat kedua konsekuensi jangka pendek maupun jangka panjang dari kegiatan manajemen unsur hara.

Pentingnya alat dan sistem pendukung keputusan untuk manajemen unsur hara dapat meningkat seiring dengan permintaan untuk perbaikan efisiensi dan produktivitas. Integrasi alat pendukung keputusan yang tepat ke dalam sistem pendukung (untuk membantu dengan keputusan manajemen unsur hara yang saling bergantung), telah tercapai (untuk sistem penanaman dominan di beberapa daerah), namun belum untuk daerah lainnya. Integrasi demikian diperlukan untuk pemahaman ilmiah yang telah ada agar dapat dimanfaatkan di kebun. Sistem pendukung yang transparan dan terbuka yang memfasilitasi manajemen adaptif melalui umpan balik internal berpotensi untuk meningkatkan kualitas pembuatan keputusan manajemen unsur hara. Sistem terbuka demikian dapat lebih baik memperkaya keahlian manajemen hara lokal dan implementasi pendekatan spesifik lokasi.

Perangkat lunak yang tersedia beragam dari alat berfokus secara sempit pada satu praktek atau keputusan sampai sistem pendukung keputusan sebenarnya yang mengintegrasikan berbagai aspek dari Penataan Hara 4T. Di bawah ini daftar beberapa contoh alat bantu pengambilan keputusan dan sistem.

- a) **Nutrient Decision Support System (NuDSS) – Sistem Pendukung Keputusan Hara.** Dikembangkan untuk padi dengan irigasi sebagai bagian inisiatif dari *Irrigated Rice Research Consortium* untuk menyediakan pendukung keputusan pada manajemen unsur hara spesifik-lokasi (*SSNM*) pada dataran rendah dengan irigasi. Target pengguna adalah ilmuwan, penyuluh, dan ahli agronomi. [On-line].
- b) **Nutrient Expert® for Hybrid Corn – Nutrient Expert® untuk Jagung Hibrida.** Suatu perangkat lunak yang dikembangkan untuk membantu penasihat perkebunan untuk membuat rekomendasi unsur hara untuk jagung hibrida tropis. Perangkat lunak ini sekarang sedang diadaptasi untuk membuat rekomendasi untuk jagung dan gandum pada lingkup lingkungan yang lebih luas. Tidak adanya informasi uji tanah tidak membatasi penggunaan pada perangkat lunak ini. [On-line].
- c) **Fertilizer Chooser – Pemilih Pupuk.** Perangkat lunak yang dikembangkan sebagai tahapan akhir pada proses rekomendasi, *Fertilizer Chooser* membantu pengguna untuk menterjemahkan rekomendasi unsur hara menjadi jumlah yang tepat dari sumber pupuk yang tersedia, membuat perbandingan biaya untuk mencari kombinasi produk yang tersedia dengan biaya paling rendah. [On-line].
- d) **Adapt-N – N-Adopsi.** Alat yang dikembangkan *Cornell University* untuk memperkirakan dosis N *sidedress* pada jagung. Alat ini menyediakan rekomendasi N pada musim tanam untuk produksi jagung berbasis pada tanah, manajemen, dan tanaman dan menghitung perubahan N tanah yang diakibatkan cuaca awal musim. [On-line].

- e) **Maize-N – N-Jagung.** Suatu program pelengkap yang dikembangkan oleh *University of Nebraska* untuk program simulasi tanaman jagung hibrida. *Maize-N* mensimulasikan kebutuhan pupuk untuk jagung yang ditanam dengan manajemen intensif berbasis informasi pada tanaman, manajemen pengolahan tanah dan residu tanaman, karakteristik dasar tanah, manajemen pupuk dan pupuk kandang, dan data cuaca jangka panjang dari lapangan pada musim berjalan dan musim sebelumnya. Program ini menggunakan semua informasi tersebut untuk membuat simulasi potensi panen dan N yang dilepaskan dari mineralisasi bahan organik tanah, residu tanaman, dan pupuk kandang. [On-line].
- f) **Seed-Placed Fertilizer Decision Aid – Bantuan Keputusan Penempatan Pupuk Benih.** Dikembangkan oleh South Dakota State University untuk membantu menentukan berapa banyak pupuk dapat ditempatkan pada lajur bibit dengan perlakuan yang spesifik terhadap kondisi. Alat bantu keputusan ini berdasarkan pada penelitian yang timbul dari studi laboratorium pupuk dan tanaman umum dan diverifikasi dengan penelitian lapangan yang dipublikasikan jika ada.
- g) **Phosphate Rock Decision Support System (PRDSS) – Sistem Pendukung Keputusan Batuan Fosfat.** Dikembangkan untuk membantu pengguna untuk memutuskan apakah batu fosfat (*Phosphate Rock/ PR*) tertentu dibandingkan dengan sumber P larut air memungkinkan secara agronomis dan ekonomis sebagai suatu fungsi terutama dari tanaman, karakteristik *PR*, karakteristik tanah, dan kondisi lapangan lainnya, seperti cuaca. [On-line].

Berbagai sistem dan alat pendukung keputusan tersedia untuk sistem pertanian tertentu di seluruh dunia. Alat dan sistem ini memiliki potensi yang besar untuk memperbaiki rekomendasi sumber, laju, waktu dan tempat aplikasi unsur hara. Pengembang sistem-sistem ini harus memastikan untuk mencakup semua aspek Penataan Hara 4T untuk wilayah penanaman dimana alat dan sistem digunakan. 📌

PUSTAKA

- Fixen, P.E. 1994. In Murphy, L.M. (ed.). Proceedings of the Intensive Wheat Management Conference, Denver, CO. Potash & Phosphate Institute, pp 49-56 (now the International Plant Nutrition Institute, Norcross, GA).
- Fixen, P.E. 2007. In Fertilizer Best Management Practices, First Edition. IFA, Paris.
- Thorup, J.T. and J.W.B. Stewart. 1988. In Proceedings of the 25th Anniversary Symposium of Division S-8, Advances in Fertilizer Technology and Use. Published for the Soil Sci. Soc. A. by the Potash & Phosphate Institute (now the International Plant Nutrition Institute, Norcross, GA).

Pertanyaan

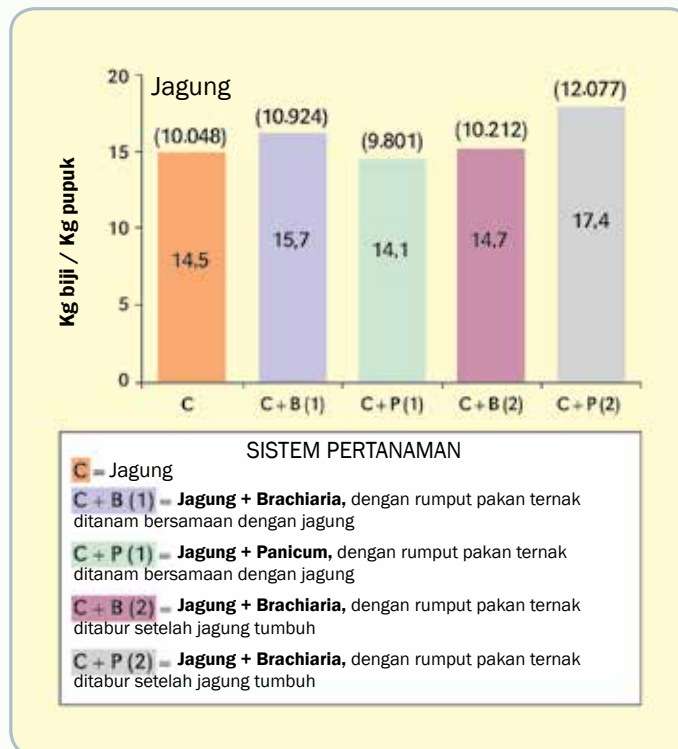


1. Manajemen adaptif merupakan proses berjalan untuk mengembangkan praktek perbaikan dengan penggunaan pembelajaran partisipatif melalui
 - a. penilaian hasil panen tanaman.
 - b. penilaian faktor lokasi.
 - c. penilaian sistematis berkelanjutan.
 - d. penilaian prinsip ilmiah.
2. Salah satu faktor lokasi yang mempengaruhi keputusan untuk tepat sumber, dosis, waktu dan tempat untuk aplikasi unsur hara adalah
 - a. lingkaran umpan balik.
 - b. masukan pemegang kepentingan.
 - c. hasil akhir.
 - d. cuaca.
3. Sistem pendukung keputusan mengaplikasikan pemahaman ilmiah untuk mengintegrasikan informasi pada berbagai faktor lokasi untuk membuat keputusan pada
 - a. tepat sumber, dosis, waktu dan tempat.
 - b. perangkat lunak komputer.
 - c. masukan pemegang kepentingan.
 - d. tujuan filosofis manajemen unsur hara.

Studi Kasus 7.1-1 Pengaruh sistem pertanaman pada efisiensi hara dan produksi tanaman di Brazil. Musim dingin yang kering menghambat para petani di Brazil untuk mengadopsi sistem tanpa olah yang berkesinambungan dengan lancar. Akibatnya, tanah ini secara umum menerima masukan (*input*) residu tanaman yang rendah. Penanaman tumpangsari biji-bijian dengan tanaman pakan ternak tropis (terutama *Brachiaria* atau *Panicum*) telah sukses diadopsi di beberapa wilayah di Brazil sebagai cara untuk melindungi tanah dan mencapai efisiensi penggunaan unsur hara yang lebih tinggi, hasil panen lebih tinggi, dan juga keuntungan ekonomi yang lebih tinggi. Gambar tersebut menunjukkan hasil panen rata-rata selama 3 tahun yang menunjukkan peningkatan dimaksud. Hasil panen meningkat dari 10.048 kg/ha ketika hanya jagung yang ditanam, menjadi 12.077 kg/ha saat rumput *Panicum* ditumpangsari dengan jagung. Pemilihan dari spesies rumput tumpangsari yang tepat dan waktu pembibitan meningkatkan efisiensi penggunaan unsur hara (jumlah bulir yang dihasilkan per unit pupuk yang diaplikasikan) sebanyak 20%.

Sebagai contoh kelaikan ekonomis, pada salah satu perkebunan di perusahaan agro milik Peeters di Brazil, terdapat 100% peningkatan laba karena pengaplikasian sistem bergantian penanaman kedelai, jagung sebagai tanaman kedua, dan rumput *Brachiaria* pada satu tahun dengan kapas pada tahun berikutnya, dibandingkan dengan tanaman kapas setiap tahunnya. Pada sistem yang demikian, rerumpunan tanam tersendiri atau tumpangsari dengan tanaman berbulir. Informasi demikian menunjukkan contoh yang jelas dari kegiatan adaptasi yang tepat dari segi rotasi tanaman dan tumpangsari yang benar dapat menjadikan perkebunan lebih sukses. Telah diyakini bahwa sistem penanaman yang serupa dapat diperluas ke wilayah-wilayah lain di seluruh dunia.

Sumber: Crusciol, C.A.C., et al. 2010. Better Crops with Plant Food. 94:2(14-16).



Disampaikan oleh L. Prochow, IPNI, Brazil, December 2011.

Studi Kasus 7.1-2 Mengadaptasi manajemen nitrogen untuk kentang ke rezim irigasi di China. Bagian Barat Laut China merupakan wilayah kering dan semi-kering dengan curah hujan tahunan rata-rata sebanyak 200 sampai 400 mm atau kurang. Kurangnya kelembaban dalam tanah menjadikannya tantangan untuk mendukung pertumbuhan benih yang cukup pada kebanyakan musim semi, dan umumnya membatasi produksi pertanian. Untuk meningkatkan hasil panen, petani berupaya untuk mengairi dengan sumber daya air yang terbatas. Kentang merupakan tanaman utama dan sering ditanam pada lahan datar dengan irigasi tergenang. Belakangan ini, lebih banyak lagi petani yang telah beralih ke penanaman kentang pada teras dan menggunakan irigasi tetes. Namun, manajemen unsur hara terutama aplikasi N merupakan suatu tantangan dan kesempatan dalam kondisi seperti ini.

Penelitian dilakukan pada manajemen N dalam metode irigasi tergenang (*flood irrigation*) dan tetes pada kentang dengan irigasi yang ditanam pada tanah *Chestnut* di Wuchuan County, Mongolia Dalam. Hasil pada **Tabel 1** menunjukkan bahwa ketika jumlah semua N yang direkomendasi diaplikasikan sebelum penanaman dengan irigasi tetes menghasilkan hasil panen kentang, efisiensi perolehan kembali N (N recovery efficiency/ RE_N), dan efisiensi penggunaan air (*water use efficiency/WUE*) lebih tinggi daripada pada irigasi tergenang. Mengaplikasikan hanya 50% dari N rekomendasi pada irigasi tetes menghasilkan panen kentang yang serupa dengan hasil panen yang didapatkan dengan 100% N rekomendasi pada irigasi tergenang. Dosis yang dikurangi juga mengakibatkan efisiensi perolehan kembali N yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode irigasi tergenang, namun WUE relatif lebih rendah terhadap dosis penuh N dengan irigasi tetes. Irigasi tetes menghemat air (630 m³/ha) dan pupuk N (105 sampai 120 kg/ha) dibandingkan dengan irigasi tergenang, sambil menjaga hasil panen. Pada kondisi irigasi tergenang, aplikasi N yang dibagi (*split*) dan 100% aplikasi N dasar menghasilkan panen kentang yang serupa, namun efisiensi N lebih tinggi diperoleh dengan aplikasi N yang dibagi. Oleh karena itu, terdapat potensi besar untuk menggunakan persediaan air dan hara pupuk yang terbatas untuk mengoptimalkan produksi tanaman dan efisiensi penggunaan unsur hara, pada kedua rezim irigasi.

Sumber: Li, S., et al. 2011, Better Crops with Plant Food, Vol. 95, No. 3, 20-23.

Tabel 1. Respon kentang terhadap pengelolaan N dan rezim irigasi di Mongolia Dalam. Rata-rata dalam dua tahun, 2009-2010

Manajemen N		Irigasi	Hasil kentang rata-rata, t/ha	RE_N rata-rata, %	WUE rata-rata, kg/ha/mm
Dasar	Saat berbunga				
100%		Tetes	37,3 a	34	431 a
50%			33,1 b	46	383 b
30%	70%	Tergenang	34,2 b	27	228 c
100%			33,0 b	22	220 c

Keterangan: N-P₂O₅-K₂O = 210-90-165 kg/ha pada tahun 2009, N-P₂O₅-K₂O = 240-90-165 kg/ha pada tahun 2010. Angka diikuti huruf yang sama dalam satu kolom tidak berbeda nyata pada P<0,05.

Disampaikan oleh S. Li, IPNI, China, December 2011.

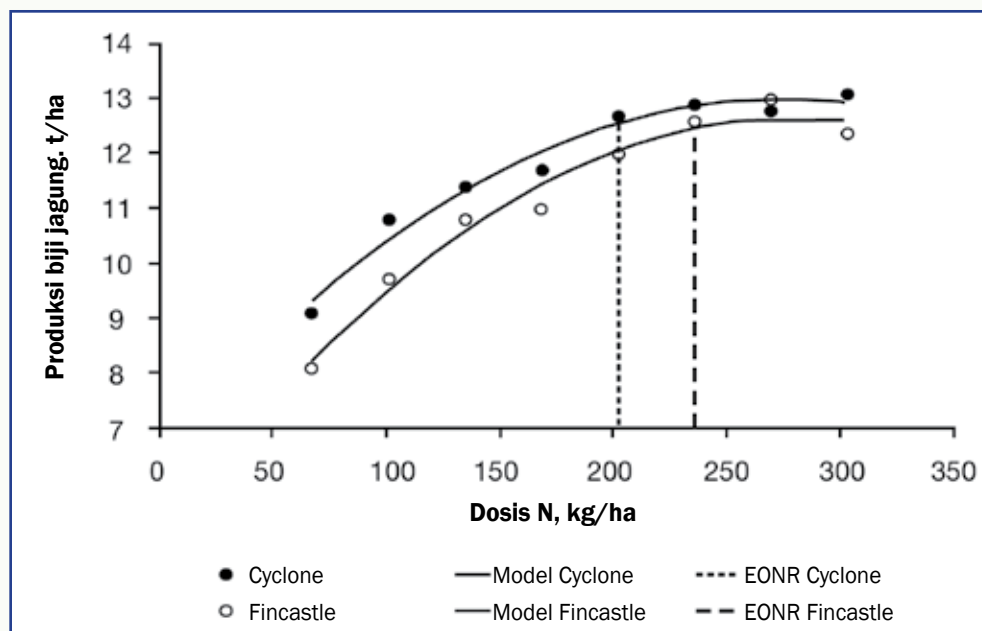
Studi Kasus 7.2-1 Manajemen nitrogen adaptif pada tanah menggunakan data lokal untuk jagung di Midwest Amerika Serikat.

Pada contoh manajemen N adaptif ini (Murrell, 2004), seorang praktisi pertanian (*agronomist*) mencari peningkatan terhadap dosis N yang direkomendasikan oleh universitas di negara bagianya. Praktisi pertanian ini telah membangun program manajemen spesifik-lokasi dimana tipe tanah digunakan sebagai basis untuk menciptakan zona manajemen dalam kebun. Fosfor, K, dan kapur beragam pada zona-zona ini sesuai dengan kebutuhan individual zona. Namun, N masih diaplikasikan pada satu dosis seragam di seluruh kebun, dan universitas tidak menyediakan bimbingan untuk aplikasi spesifik lokasi.

Untuk menentukan perbedaan, jika ada, yang harus dilakukan terhadap dosis N yang direkomendasi untuk dua tanah utama di daerahnya, praktisi pertanian tersebut melaksanakan studi selama 5 tahun yang meneliti respons jagung terhadap berbagai dosis N untuk kedua tanah: lempung berdebu Fincastle dan lempung berdebu Cyclone. Dosis nitrogen dipilih untuk mencakup kegiatan manajemen petani lokal serta anjuran universitas. Penelitian ini dirancang agar jagung selalu mengikuti kedelai, mencerminkan praktek penanaman lokal.

Gambar menunjukkan hasil rata-rata selama 4 tahun (satu tahun kekeringan tidak dimasukkan), yang mengindikasikan bahwa lempung berdebu Cyclone, yang memiliki bahan organik lebih tinggi, memiliki dosis N optimal ekonomis (*economically optimum N rate, EONR*) sebanyak 35 kg/ha lebih rendah dari yang direkomendasikan oleh universitas. Lempung berdebu Fincastle, yang memiliki bahan organik lebih rendah, masih membutuhkan dosis rekomendasi penuh (235 kg N/ha). Hasil penelitian ini berlawanan dengan opini para petani di wilayah ini yang menyatakan bahwa tanah Cyclone, karena lebih produktif, seharusnya menerima lebih banyak, bukan lebih sedikit N. Hasil dari percobaan ini digunakan untuk membuat rekomendasi baru untuk tanah Cyclone dan menciptakan basis ilmiah untuk paraktisi pertanian tersebut untuk memulai program baru N spesifik-lokasi yang membedakan dosis N berdasarkan tanah dalam kebun.

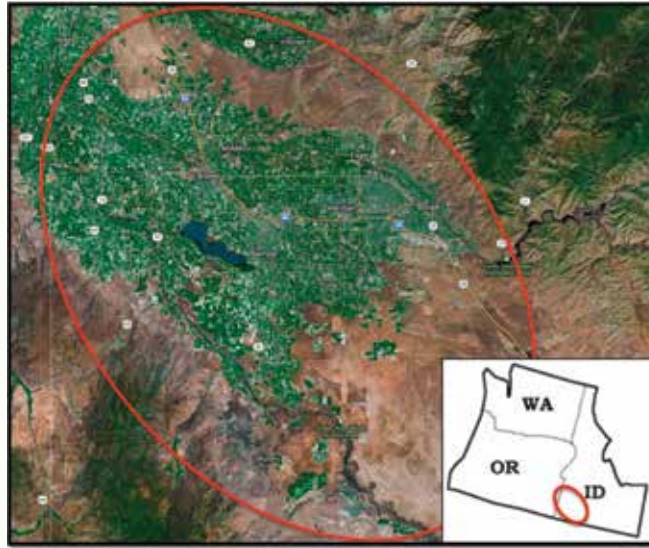
Sumber: Murrell, T.S. 2004. *In* A.R. Mosier et al. (eds.) *Agriculture and the nitrogen cycle: Assessing the impacts of fertilizer use on feed production and the environment*. Scope 65. Island Press, Washington, DC. hal.155-165.



Disampaikan oleh T.S. Murrell, IPNI, USA, Desember 2011.

Studi Kasus 7.2-2 Memperbaiki manajemen nitrogen dan hasil praktek irigasi pada efisiensi dan produksi.

Pertanian dengan irigasi di Oregon Tenggara dan Idaho Barat Daya (*Treasure Valley*) menghasilkan panen bawang, jagung, gandum, gula bit, kentang, dan kacang yang tinggi, bergantung pada pemberian air dan pupuk N yang signifikan. Sebelum pengembangan irigasi, pertanian pada wilayah ini tidak memungkinkan karena rendahnya curah hujan saat musim tanam. Pertanian dengan irigasi menjadi mungkin dengan pembangunan waduk dan bendungan pada awal 1900an. Sampai 1980an, perkebunan umumnya mengaplikasikan 170 sampai 225 kg N/ha pada musim gugur, diikuti dengan 170 sampai 335 kg N/ha pada musim semi dan musim panas. Irigasi alur merupakan metode utama untuk penghantaran air.



Hasil

Sebuah program pendidikan intensif diluncurkan untuk membantu para petani untuk menghitung semua pupuk N teraplikasi dan yang terangkut oleh panen, uji nitrat tanah, dan termasuk tanaman berakar dalam pada rotasi dengan tanaman berakar dangkal. Penanaman tanaman seperti sugar bit dan gandum setelah bawang dan kentang memungkinkan adanya pemulihan residu nitrat tanah yang tidak digunakan oleh tanaman sebelumnya. Demonstrasi dosis aplikasi pupuk N, penempatan dan waktu yang tepat telah menunjukkan kualitas tanaman yang lebih baik dan produktifitas dengan pemberian unsur hara yang lebih sedikit.

Penghitungan untuk semua pemberian N akan memberikan kesesuaian yang lebih baik antara kebutuhan dan aplikasi yang dibutuhkan oleh tanaman yang sedang tumbuh. Untuk melakukan ini, petani sekarang menggunakan hasil uji tanah sebagai acuan aplikasi pupuk. Sampel tangkai daun tanaman kentang dan sugar bit secara rutin dianalisa, sampel akar tanaman bawang diukur, dan sampel daun bendera gandum diuji.

Aplikasi N pada musim gugur sekarang kebanyakan telah dihilangkan karena rentan terhadap pencucian oleh curah hujan pada musim dingin. Pada musim dingin yang kering, garam dari pupuk pada bidang penanaman dapat mengganggu pertumbuhan benih tanaman. Aplikasi nitrogen sekarang umumnya dimulai di musim semi, dengan aplikasi bertahap dimulai pada bulan Maret dan berakhir pada bulan Juli. Setelah tanaman mencapai kematangan yang dianjurkan, sampel jaringan diambil untuk diamati apakah dibutuhkan tambahan unsur hara hingga mencapai kematangan penuh.

Manajemen nitrogen dan manajemen irigasi terkait erat, dan upaya untuk mengelola hanya salah satunya saja akan berakhir sia-sia. Memperbaiki manajemen N juga memerlukan perbaikan praktek irigasi untuk menghindari pencucian nitrat. Sebagai contoh, irigasi pertama melalui alur meningkatkan potensi pencucian nitrat dibawah zona akar karena permukaan tanah yang longgar dan tanah dibawahnya yang kering, dimana laju infiltrasi tinggi. Pengaplikasian pupuk N setelah irigasi pertama mengurangi kehilangan nitrat sehingga petani bawang dapat mengurangi aplikasi pupuk N sebanyak 25% sambil menjaga hasil panen dan kualitas.

Perbaikan pada praktek irigasi juga telah membawa manfaat untuk pengaturan unsur hara. Manfaat ini antara lain:

- Perataan lapangan (*laser leveling*) untuk mendapatkan aplikasi air secara merata
- Penggunaan mulsa jerami mekanis untuk mengurangi pergerakan tanah dan kehilangan sedimen
- Pipa berpintu dapat mendistribusikan air secara merata dan mengurangi penggunaan air sebanyak 35%
- Membersihkan gulma penghalang dan memungkinkan air menyebar lebih merata
- Penambahan poliakrilamida mengikat partikel tanah dan mengurangi erosi akibat irigasi

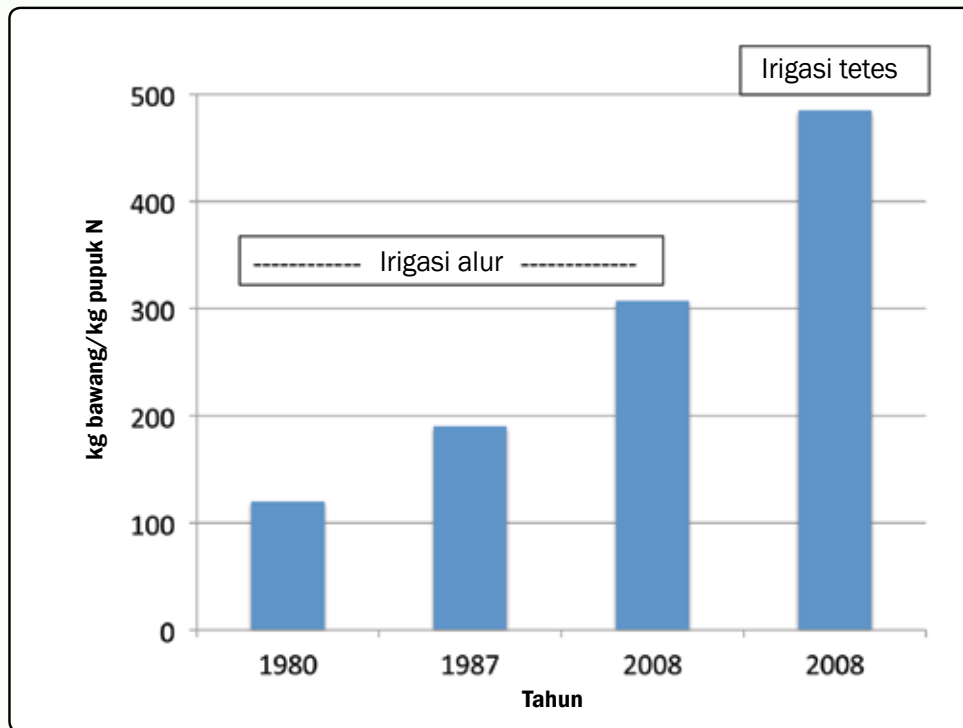
- Sedimentasi dasar mengumpulkan tanah yang hanyut dari kebun sehingga dapat diperoleh dan dikembalikan ke kebun
- Penggunaan irigasi *sprinkler* dapat mengaplikasikan air lebih seragam daripada irigasi alur
- Pengalihan ke irigasi tetes menghasilkan pengaturan air dan hara yang lebih tepat. Sebagai contoh, bawang yang ditanam dengan irigasi tetes membutuhkan hanya 60% jumlah air dibandingkan saat ditanam dengan irigasi alur dengan pipa berpintu
- Peralatan pengawasan kelembaban tanah telah digunakan oleh petani untuk membantu penjadwalan irigasi

Kecenderungan kadar nitrat dalam air tanah selama 20 tahun terakhir menunjukkan penurunan dengan laju kurang sedikit dari 1 ppm/tahun. Sebuah penurunan signifikan pada konsentrasi bahan kimia-pertanian (yang lain) juga sedang terjadi.

Dengan pemberlakuan prinsip 4T terintegrasi, kemajuan signifikan telah tercapai dalam memperbaiki efisiensi penggunaan unsur hara, meningkatkan produktifitas, dan menguntungkan keuntungan lingkungan.

Tabel 1. Peningkatan pada hasil panen bawang dan penggunaan pupuk N di Malheur County, Oregon dari 1980 sampai 2008

	Irigasi alur			Irigasi tetes
	1980	1987	2008	2008
Hasil, t/ha	27	30	44	46
Aplikasi N total, kg N/ha	448	318	288	196



Gambar 1. Peningkatan pada efisiensi penggunaan nitrogen (produktifitas faktor parsial) pada produksi bawang di Malheur County, Oregon ketika program hara dan irigasi dan memperbaiki penataan unsur hara

Pustaka

Shock, C.C., and C.B. Shock. 2012. *J. Integrative Agriculture*. 11:14-30

Disampaikan oleh R. Mikkelsen, IPNI, USA, January 2013.

Studi Kasus 7.3-1 Praktek pemilihan fosfor untuk gandum berdasarkan kondisi petani. Hasil akhir dari suatu seminar (*workshop*) pada interpretasi uji tanah yang merupakan bagian dari *International Symposium on Soil Testing and Plant Analysis* di Olympia, Washington, menunjukkan pentingnya keadaan petani pada pemilihan praktek pengaturan P (Fixen, 1994). Peserta seminar merupakan penguji tanah profesional dari 11 negara dan dibagi menjadi dua kelas yang masing-masing terdiri dari 20 orang. Setiap kelas dibagi menjadi empat grup yang masing-masing beranggotakan lima orang, dengan setiap grup menerima informasi seorang petani tertentu. Keempat kelompok petani, semuanya menanam gandum sebagai tanaman penghasil utama, digambarkan sebagai berikut:

- **Penyewa muda.** Petani muda ini masih memiliki beban hutang tinggi, modal sangat terbatas, dan tidak dapat bernegosiasi lebih dari sewa dua tahun. Petani ini menghasilkan panen lebih rendah dari yang lainnya di wilayah tersebut, sebagian disebabkan oleh keterbatasan dana.
- **Petani mapan.** Individu ini tidak memiliki hutang, menginvestasikan keuntungan pada saham, dan memiliki hasil panen yang sangat baik pada wilayah tersebut. Lahannya merupakan hak milik yang baru-baru ini telah dibeli.
- **Petani berkembang.** Petani ini baru saja membeli lahan yang luas dan sekarang kekurangan dana.
- **Petani paruh waktu.** Petani ini memiliki dana yang cukup, namun juga memiliki pekerjaan mengajar selama sembilan bulan dan menghadapi konflik waktu yang cukup berat saat musim tanam. Petani ini merasa tidak memiliki waktu untuk menabur pupuk dengan mesin (*drill*) dan lebih memilih agar penjual pupuk yang mengurus penaburan pupuknya.

Semua kelompok diberi data kalibrasi, data serapan dan tingkat uji tanah yang sama, lalu diminta untuk mengembangkan rancangan manajemen P jangka pendek dan jangka panjang untuk petaninya (salah satu dari yang dideskripsikan di atas). Setelah setiap kelompok menyelesaikan rancangannya, rancangan tersebut didiskusikan dan dibandingkan dengan rancangan yang telah dicetak oleh sebuah program spreadsheet PKMAN yang dikembangkan oleh institut untuk memfasilitasi personalisasi interpretasi uji tanah. Program ini mengestimasi tingkat uji tanah dimana uang dihabiskan untuk P atau K dapat memberi penghasilan yang setara dengan penghasilan minimum yang cukup (*acceptable*) pada modal pengguna. Tingkat ini disebut dengan tingkat uji tanah target. Dosis yang dicetak pada tingkat uji tanah target sama dengan jumlah P atau K yang hilang pada panen. Jika dosis saran pada Tabel diikuti, uji tanah sepanjang waktu semestinya meningkat atau menurun ke tingkat target.

Grup yang mengikuti seminar diminta untuk mengaplikasikan sejumlah P selama tahun pertama dan untuk tingkat uji tanah target jangka panjang. Rekomendasinya dicantumkan pada Tabel beserta hasil akhir dari PKMAN. Rekomendasi dari dua kelas cukup mirip satu sama lain dan pada hampir semua kasus mirip dengan hasil PKMAN. Pengecualian ditemukan pada dosis tahun pertama untuk petani paruh waktu. Perbedaan ini terutama disebabkan karena dosis tahun pertama yang terlalu rendah dibandingkan dengan tingkat uji tanah target yang disarankan oleh kelas. Ketika didiskusikan dengan kelas, grup-grup sepakat bahwa dosis tahun pertama harus dinaikkan agar dapat mencapai tingkat uji tanah target pada akhirnya. Oleh karena itu, program komputer menghasilkan rekomendasi yang mirip dengan yang dikembangkan secara intuitif oleh para ahli uji tanah. Percobaan ini menunjukkan bagaimana keadaan petani dapat mempengaruhi keputusan mengenai dosis, penempatan, dan waktu pemupukan. Hal ini juga menunjukkan bahwa alat komputer dapat memfasilitasi personalisasi interpretasi uji tanah oleh praktisi agronomi dan menjadi komponen berharga dari program Penataan Hara 4T.

Sumber: Fixen, P. 1994. In L.S. Murphy (ed.) *Proceedings Intensive Wheat Management Conf.*, Denver, Co., Potash and Phosphate Institute (sekarang IPNI). Hal.49-79.

Tipe petani	Dosis tahun pertama			Target uji tanah		
	Kelas			Kelas		
	1	2	PKMAN	1	2	PKMAN
	kg P ₂ O ₅ /ha			mg/kg		
Penyewa muda	17	0	12	NA	NA	5
Telah mapan	56	45	55	26	25	22
Berkembang	28	0	37	14	10	14
Paruh waktu	22	39	94	22	20	20

NA = tanpa nilai; uji tanah awal = 10 mg/kg.

Disampaikan oleh P.E. Fixen, IPNI, USA, Desember 2011.

Studi Kasus 7.3-2 Optimasi manajemen pupuk N untuk kebutuhan multi waktu. Petani kecil di berbagai belahan dunia tidak pernah berhenti untuk mencari cara yang tepat agar pendapatan mereka yang terbatas dapat bertambah. Dalam beberapa tahun terakhir ini di China, hal tersebut berarti banyak terjadi migrasi buruh yang sebelumnya bekerja di kebun menjadi pekerja dalam proyek konstruksi yang sedang berbenah. Teknologi yang ada memungkinkan petani yang bertanam tanaman berproduksi tinggi dengan irigasi untuk membagi aplikasi N untuk memperoleh produksi biji-bijian tertinggi dan mengoptimasi efisiensi penggunaan N. Namun demikian, nilai dari pekerjaan non-pertanian pada para pekerja ini artinya bahwa tidak ada pekerja yang tinggal untuk mengaplikasikan N yang terpisah pada fase pertumbuhan yang tepat.

Teknologi pupuk pelepasan terkendali membantu petani dengan tambahan sumber pupuk N yang memungkinkan semua N dipupuk saat penanaman, namun pelepasannya diatur secara berkala sepanjang musim tanam. Seringkali N yang dilepaskan secara terkendali ini dicampur dengan pupuk dengan N murni (*untreated*), untuk mempercepat ketersediaan N, dan juga pupuk N yang tertahan (*deferred N*) pada fase selanjutnya. Biaya tambahan yang diakibatkan produk-produk ini kepada petani sering lebih besar dari kompensasi dari pendapatan jika mengerjakan pekerjaan di luar kebun, dan efisiensi dengan memakai produk dengan pelepasan terkendali memungkinkan petani dapat mengaplikasikannya pada dosis normal, atau dalam banyak kasus dengan intensitas yang lebih rendah.

Sumber: IPNI China, data tidak dipublikasi.

Pengolahan	Sichuan	Chongqing	Hubei	Jiangxi
----- Produksi padi, kg/ha -----				
Check (no N)	4.167	5.635	6.243	5.623
Urea dibagi*	6.996	7.495	7.004	7.667
Urea/CRU**	7.120	8.352	7.524	8.134

* Urea dibagi adalah aplikasi urea N 40% sebelum pindah-tanam, aplikasi 60% pada 7-10 hari setelah pindah-tanam

** Urea/CRU 0% aplikasi urea N 40% sebelum pindah-tanam, dan aplikasi CRU 60% pada 7-10 hari juga sebelum pindah-tanam

Disampaikan oleh A.M. Johnston, IPNI, Canada, December 2011.

Studi Kasus 7.3-3 Perbaikan keseimbangan hara pada peternakan melalui manajemen pakan ternak.

Di bagian Timur Laut Amerika Serikat, peternakan memiliki porsi besar dalam pertanian. Peternakan biasanya menanam sendiri tanaman pakan ternak (yaitu, *hay*, *haylage* dan silase jagung), namun mereka membeli suplemen untuk memenuhi tingkat kebutuhan protein dan energi (*digestible*). Kotoran ternak biasanya ditabur pada lahan dimana tanaman pakan ternak dan jagung (untuk silase) ditanam, mendaur-ulang mineral hara dalam jumlah besar kembali ke tanah.

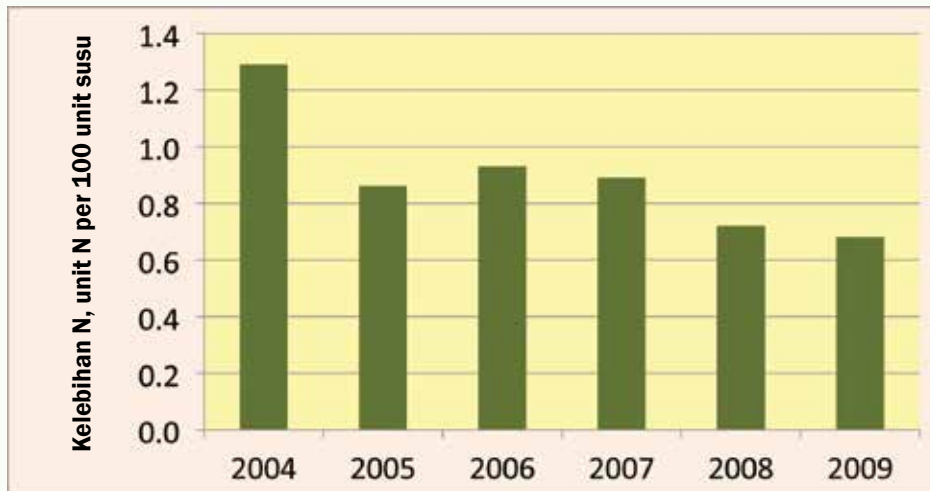
Di kebanyakan peternakan, jumlah unsur hara yang diimpor dalam bentuk pembelian suplemen butiran dan mineral melebihi jumlah hara yang diekspor dalam bentuk susu dan penjualan hewan. Pada peternakan ini, kelebihan hara yang dikembalikan ke tanah dalam bentuk kotoran ternak dapat membangun cadangan P dan K pada taraf yang lebih tinggi dari keperluan produksi tanaman, dan taraf yang lebih tinggi tersebut dapat menimbulkan risiko yang lebih tinggi terhadap pencucian hara yang membahayakan kualitas air.

Permasalahan kelebihan unsur hara tanah tersebut dapat ditanggulangi dengan pengaturan penggunaan tanaman pakan ternak (*forage*) untuk kualitas optimum. Dengan semakin tingginya kualitas pakan, jumlah suplemen (biji dan mineral yang dibeli) yang ditambahkan pada pakan ternak menjadi berkurang.

Charles C. Stallings, ilmuwan Extension Dairy dari Virginia Tech, menyatakan:

“Memaksimalkan jumlah pakan ternak alami (*forage*) dalam ransum tidak hanya dapat memperbaiki kesehatan sapi, tapi juga mengurangi kebutuhan suplemen pakan ternak yang biasanya memiliki kandungan P yang tinggi. Sebagai contoh, pakan kedelai mengandung 0,7% P (kondisi kering) dibandingkan dengan alfalfa 0,3% P. Jadi dengan menggunakan lebih banyak alfalfa akan menurunkan kebutuhan pakan kedelai dan menjadikan P dalam ransum yang lebih rendah. Hal ini juga berlaku untuk pakan ternak hasil samping yang mengandung konsentrasi P tinggi. Pakan seperti biji kapas (0,6%), ampas hasil produksi bir (0,67%) dan ampas hasil distilasi biji (0,83%) merupakan contoh yang bagus. Penggunaan lebih banyak pakan alami (*forage*) dalam ransum dapat mengurangi kebutuhan pakan hasil samping tersebut.”

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar dibawah, dalam sebuah peternakan dengan 1.100 sapi di New York, perubahan komposisi pakan alami (*forage*) dari 52% menjadi 60% antara tahun 2004 sampai 2009, kelebihan N kebun berkurang hampir setengahnya (Fields, 2011). Manajer penanaman kebun tersebut mengatakan, “Porsi pakan alami (*forage*) yang tinggi dapat diperoleh dari pakan ternak kualitas tinggi yang ditanam sendiri, sehingga kami perlu memanfaatkan sepenuhnya kandungan hara dari kotoran hewan yang dihasilkan. Kami mengubah ke injeksi langsung pada saat penaburan (*spreading*). Dengan injeksi tersebut, kehilangan N melalui penguapan menurun sangat besar, dengan demikian kami menangkap kadar N yang lebih tinggi untuk tanaman jagung. Hal yang sama, peternakan lain dengan 650 sapi di pusat New York, penurunan kandungan N dan P pada kotoran ternak berturut-turut 17% dan 28%, ketika proporsi pakan yang diproduksi dalam-kebun meningkat dari 43% menjadi 59% dalam rentang waktu 5 tahun (Tylutki et al, 2004).



Peningkatan keseimbangan komposisi unsur hara N dan P dihasilkan oleh kombinasi dari efek-efek sebagai berikut:

- memperkecil penurunan kehilangan unsur hara dari kotoran hewan dalam penyimpanan;
- penggunaan kotoran hewan dan dosis pupuk, waktu, dan tempat yang tepat;
- memilih jenis pakan ternak, rotasi jenis tanaman, dan penentuan waktu panen yang tepat agar dapat memenuhi kualitas protein dan *neutral detergent fiber*;
- meminimalkan kehilangan akibat penyimpanan pakan ternak;
- pemberian pakan ternak setepat mungkin pada ternak untuk memenuhi kebutuhan protein dan P.

Pustaka

Fields, L. 2011. Cornell University Nutrient Management Spear Program, Whole Farm Evaluation Series.
 Stallings, C.C. 2005. Virginia Cooperative Extension.
 Tylutki, T.P. et al. 2004. The Professional Animal Scientist 20:58-65.

Disampaikan oleh T.N. Bruulsema, IPNI, Canada, November 2011.

Studi Kasus 7.4-1 Penggunaan alat pendukung keputusan meningkatkan keuntungan produksi jagung di Indonesia. Di daerah pertanian jagung Lampung Tengah dan Sumatera Utara, uji coba dilakukan untuk menguji ketepatan *Nutrient Expert*[®]. Dalam setiap wilayah, hasil disimpulkan dari melibatkan 5 kebun jagung dengan posisi yang berdekatan.

Program *Nutrient Expert*[®] adalah alat bantu yang memanfaatkan informasi mengenai penyediaan hara kebun dengan menggunakan metode plot omisi (plot penghilangan hara) atau karakteristik lokasi dan manajemen yang dapat memperkirakan ketersediaan unsur hara. Alat tersebut dapat menghasilkan dosis rekomendasi dan waktu penggunaan N, P, dan K yang berbeda dengan pola pemupukan konvensional yang biasanya dilakukan oleh setiap petani, dimana berdasarkan pada generalisasi rekomendasi satu-dosis-untuk-semua, atau memperkirakan (dosis) yang biasanya tidak memperhatikan ketersediaan hara lokal spesifik-lokasi yang akurat.

Dalam hal ini, ketersediaan hara diperkirakan melalui informasi terdekat, meliputi tekstur tanah, kedalaman dan warna tanah, dan juga sejarah penanaman dan pemupukan. Produksi jagung yang dapat dicapai pada kedua lingkungan yang menguntungkan tersebut diperkirakan 9 ton/ha, dan digunakan sebagai target produksi pada musim tersebut. Harga bibit, pupuk, dan produksi merupakan harga aktual yang dicatat saat uji tersebut dilakukan.

Secara rata-rata, penggunaan rekomendasi program *Nutrient Expert*[®] di Indonesia mencapai hasil panen yang lebih tinggi dengan lebih sedikit pupuk. Efisiensi dan keuntungan yang lebih tinggi didapat dengan kesesuaian yang lebih dekat antara dosis hara dengan kebutuhan hara spesifik-lokasi, dan melalui perbaikan waktu, secara umum dengan peningkatan jumlah aplikasi.

Sumber: IPNI Asia Tenggara (data tidak dipublikasi).

Tabel 1. Produksi dan keuntungan produksi jagung membandingkan petani yang menggunakan pupuk (*Farmers' Fertilization Practice/FFP*) berbasis rekomendasi tradisional dengan petani yang menggunakan rekomendasi dari alat bantu *Nutrient Expert*[®] (NE)

Parameter manajemen jagung Nilai per hektar	Lampung Tengah		Sumatera Utara	
	FFP	NE	FFP	NE
Produksi (kelembaban 15,5% , t)	7,60	8,99	8,20	9,03
Pemasukan (USD)	2.085	2.480	2.258	2.490
Biaya pupuk anorganik (USD)	130	124	173	163
N (kg)	218	195	175	168
P ₂ O ₅ (kg)	40	34	59	23
K ₂ O (kg)	23	34	42	53
Biaya pupuk organik (USD)	199	86	-	46
N (kg)	43	20	-	4
P ₂ O ₅ (kg)	24	11	-	4
K ₂ O (kg)	41	18	-	4
Biaya bibit dan pupuk (USD)	444	322	286	321
Perkiraan keuntungan (USD)	1.640	2.158	1.972	2.169

PUSTAKA

Pampolino, M. et al. 2011. IPNI, Penang, Malaysia. [On-line].
Witt, C. et al. 2009. IPNI, Penang, Malaysia. [On-line].

Disampaikan oleh M. Pampolino, IPNI, Malaysia, Desember 2011.



Bab 8

PRAKTEK PENDUKUNG

Beberapa aktivitas memainkan peran penting dalam penyediaan informasi untuk pengambilan keputusan yang efektif dalam pengelolaan aplikasi tepat sumber, tepat dengan dosis, waktu dan tempat yang tepat, tetapi tidak cocok dalam empat kategori tersebut. Aktivitas pendukung pertama adalah observasi visual atau pengamatan tanaman yang merupakan fundamental dalam pengelolaan tanaman. Aktivitas ini diikuti oleh aktivitas pendukung kedua, yaitu pengambilan dan analisis untuk tanah dan tanaman. Pengambilan sampel merupakan hal kritis untuk memastikan sampel mewakili kondisi lapangan. Langkah selanjutnya adalah analisis sampel tanah dan tanaman yang akurat oleh laboratorium yang dapat dipercaya.

Setelah hasil analisa diterima, sangat penting untuk memahami hasil analisa tersebut secara tepat untuk menetapkan rekomendasi penggunaan hara yang tepat. Penggunaan GPS dan GIS yang terkomputerisasi, disertai dengan perkembangan peralatan aplikasi dosis memungkinkan petani untuk membagi lahannya menjadi segmen-segmen kecil. Pembagian tersebut dibuat dengan memanfaatkan keanekaragaman alami lahan sehingga dapat dilakukan penanganannya dengan dosis yang tepat pada setiap

bagian lahan. Dengan dikombinasikan dengan informasi spasial lain yang didapat dari monitor dan sensor, teknologi ini memberikan pemahaman yang lebih akurat terhadap analisa tanah dan tanaman.

8.1 Pemantauan Tanaman dan Gejala Kekurangan Hara

Aktivitas pengamatan di lapangan sangat penting untuk dapat mengamati masalah potensial pada tanaman sehingga permasalahan tersebut dapat diperbaiki atau dicegah. Pengamatan dilakukan untuk mengetahui adanya potensi serangan hama (serangga, penyakit tanaman atau gulma), kekurangan hara atau defisiensi, dan masalah pengelolaan tanah yang dapat diperbaiki. Bagian ini akan membahas mengenai kekurangan hara dan defisiensi, tetapi sangat penting bagi pelaku pengamatan dalam melakukan pengamatan untuk tidak bias terhadap sebuah disiplin pengelolaan tanaman (seperti serangan hama, kekurangan hara, atau masalah pengelolaan tanah). Jika pengamat hanya fokus kepada masalah-masalah pada satu bidang disiplin, kemungkinan masalah-masalah potensial yang dapat mempengaruhi secara drastis potensi produksi tanaman akan terlewatkan.

Mengidentifikasi kekurangan hara adalah dasar dari produksi tanaman yang menguntungkan. Ada beberapa alat bantu yang dapat digunakan yang tersedia untuk mengembangkan keahlian identifikasi kekurangan hara. Alat bantu tersebut antara lain bulletin, gambar, dan buku yang menunjukkan warna yang dapat mendiskripsikan berbagai gejala kekurangan hara. **Gambar 8.1** menunjukkan di mana gejala biasanya timbul. Demikian juga, lajur (*strips*) kecil dalam kebun dengan gradasi dosis unsur hara yang direncanakan dari berbagai pertanyaan mengenai unsur hara dapat membantu melatih pengamat dalam melihat potensi gejala defisiensi hara. Beberapa tanaman mungkin tidak menunjukkan gejala kekurangan hara dikarenakan ketersediaan hara rendah, tetapi tidak sampai kekurangan sampai akhir musim. Ada beberapa metode alternatif untuk menilai ketersediaan hara selain dari pengamatan secara visual. Namun demikian, pengetahuan kerja mengenai gejala defisiensi hara secara visual yang lebih umum dapat

menjadi keahlian yang berharga. Beberapa kekurangan hara jika diamati pada tahapan awal pertumbuhan tanaman dapat diperbaiki dengan pemberian pupuk tambahan. Namun beberapa kekurangan hara tidak dapat diperbaiki secara efektif dengan pupuk tambahan pada aplikasinya dan aplikasi koreksi nutrisi lebih efektif untuk tanaman berikutnya.

Di bawah ini ada kunci sederhana mendiskripsikan gejala kekurangan hara di sebagian besar tanaman, namun ada individu tanaman dapat menunjukkan gejala yang lebih spesifik kekurangan hara.

Ingat: Gejala kekurangan hara jarang dapat diamati dengan jelas. Dengan memilah efek dari kekurangan hara, penyakit atau serangan hama, atau stres cuaca (kekeringan, banjir, atau suhu) dapat mencegah diagnosa kekurangan hara secara visual yang akurat.

Tabel 8.1 Kunci gejala kekurangan hara pada tanaman.

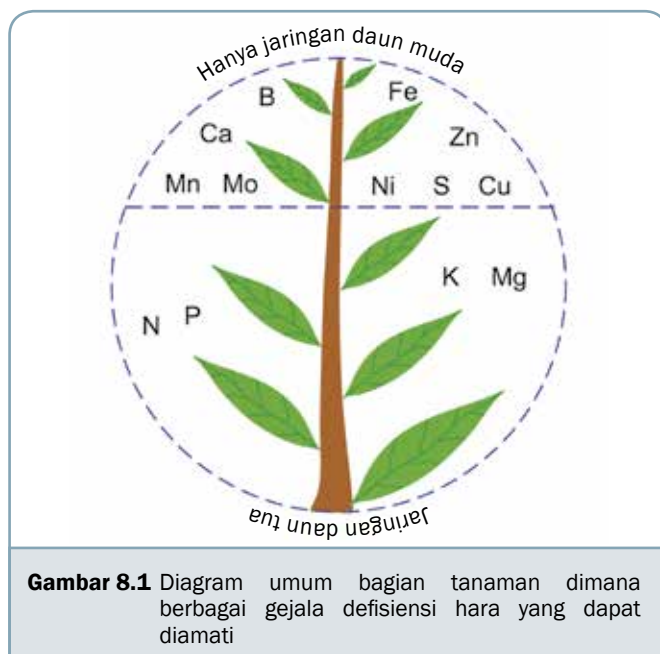
Hara	Perubahan Warna ada Daun Bagian Bawah (Hara yang Dapat Bertranslokasi)
N	Tanaman kecil dengan warna hijau muda atau hijau muda... daun yang lebih tua kuning dahulu... menguning mulai pada ujung daun dan meluas sepanjang tulang daun pada tanaman jagung dan sorgum.
P	Tanaman hijau gelap dengan aksan ungu... daun dan tanaman kecil.
K	Daun tua berubah warna kuning/coklat dan terbakar di sepanjang bagian luar daun tua... mulai dari bagian ujung daun pada tanaman jagung dan sorgum.
Mg	Perubahan warna dari hijau pucat dekat ujung daun... kemudian kuning terang di antara urat daun, akhirnya ungu kemerah-merahan dari pinggir ke dalam.
Hara	Perubahan Warna pada Daun Bagian Atas (Hara Tidak Ditranslokasi) Ujung Pucuk Mati
Ca	Terlambat keluarnya dedaunan primer... pucuk mengecil. Ujung daun bertautan satu dengan yang lain pada tanaman jagung.
B	Daun dekat titik tumbuh menguning... kuncup tumbuh muncul berupa jaringan mati berwarna putih atau cokelat muda.
Hara	Perubahan Warna pada Daun Bagian Atas (Hara Tidak Ditranslokasi) Kuncup Terminal Tetap Hidup
S	Daun, termasuk urat daun, berubah hijau pucat ke kuning... dimulai pada daun muda.
Zn	Klorosis jelas antar urat dan keunguan pada jeruk. Pada tanaman jagung, garis lebar putih sampai kuning muncul pada daun pada setiap sisi tulang daun. Tanaman kerdil, internode memendek. Bibit baru dapat mati pada beberapa species kacang.
Fe	Klorosis pertama muncul pada ujung daun muda, warna daun berubah menjadi kuning keseluruhan, kecuali urat daun, bercak coklat atau jaringan mati muncul jika defisiensi parah.
Mn	Daun abu-abu kekuningan atau abu-abu kemerahan dengan urat daun tetap hijau, klorosis pada pinggir dan antar urat daun, daun yang klorosis bentuknya tetap normal.
Cu	Daun muda kuning pucat secara keseluruhan, atau layu dan layu tanpa klorosis. Pada tanaman sereal kecil, terjadi pertumbuhan yang mengelompok, daun muda yang terpuntir dengan ujung yang nekrotik, rebah dan disertai dengan pembentukan bulir biji yang buruk.
Cl	Layunya daun bagian atas diikuti dengan klorosis. Pada beberapa varietas tanaman sereal berbiji kecil, klorotik berkembang menjadi bercak nekrosis pada daun, pada beberapa spesies.
Mo	Daun muda layu dan berubah menjadi jaringan mati sepanjang pinggir daun. Klorosis pada daun yang lebih tua akibat tidak dapat menggunakan N dengan baik.
Ni	Daun apikal melengkung dengan bercak gelap

Catatan bahwa gejala-gejala serupa dengan ini dapat membingungkan dengan gejala kerusakan tanaman disebabkan oleh herbisida, serangan penyakit, atau serangga. Tergenang atau tanah kering atau kerusakan angin dapat menyebabkan mirip defisiensi. Diagnosis seharusnya juga memperhatikan pola gejala dalam kebun dan hubungannya dengan kondisi tanah, atau keberadaan serangga dan penyakit.

Ingat: Gejala kekurangan hara sering menunjukkan kekurangan yang parah dan mungkin tidak teramati jika kekurangannya hanya bersifat sedikit pada unsur hara tertentu. Namun demikian, dalam beberapa kasus, gejala dapat muncul tanpa kehilangan produksi secara ekonomis; contohnya meliputi gejala kekurangan N dan K pada bagian bawah daun tanaman sereal pada akhir musim tanam.

Ingat: Banyak tanaman mulai kehilangan produksinya jauh sebelum gejala defisiensi hara muncul. Kondisi penghambat produksi biaya tinggi seperti ini disebut “*Hidden Hunger*” (Lapar Tersembunyi).

“*Hidden Hunger*” dapat mengurangi produktivitas dan kualitas hasil panen dalam jumlah besar bahkan tanpa menunjukkan gejala defisiensi hara sekalipun. Semakin banyak lahan yang mengalami kekurangan hara dibawah kadar optimal tetapi tanpa gejala dapat secara jelas diamati.



Gambar 8.1 Diagram umum bagian tanaman dimana berbagai gejala defisiensi hara yang dapat diamati

8.2 Uji Tanah

Pengujian tanah adalah metode yang paling sering digunakan untuk mencoba mendeteksi kekurangan hara. Pengujian tersebut sudah menjadi alat yang umumnya efektif untuk para manajer kebun, konsultan, dan peneliti, dan menyediakan informasi lebih jauh dari pemantauan kesehatan tanah ke penilaian kebutuhan pupuk dan mengevaluasi potensi pengaruh buruk lingkungan. Pengujian tanah dapat digunakan untuk:

- mengidentifikasi faktor-faktor yang menghambat produksi, terutama kurangnya hara pada tanah;
- menunjukkan kapasitas penyediaan hara dari tanah yang sedang diuji, dan dengan demikian, tempat untuk memulai pengembangan rekomendasi pupuk dan kapur pertanian;

- menyusun rencana pengelolaan hara, ketika dikombinasikan dengan informasi produksi seperti sejarah penanaman, peta survei tanah atau peta panen;
- memantau kesuburan tanah dan kecenderungannya dari waktu ke waktu, sehingga program pengelolaan hara dapat disesuaikan untuk memenuhi tujuan pengelolaan;
- mengendalikan risiko, dengan menentukan di mana tanggap yang paling besar terhadap hara yang mungkin terjadi.

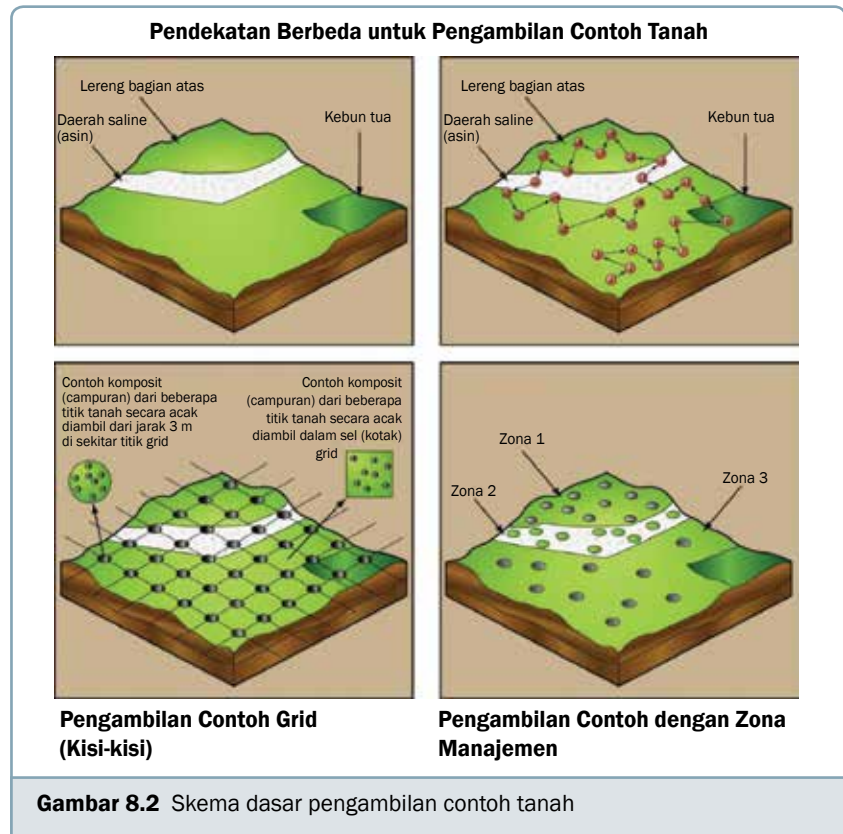
Pertanyaan



- Ketika daun bagian atas dari tanaman kedelai menunjukkan warna menguning di antara pembuluh, kekurangan hara apakah yang bisa terjadi?
 - Ca.
 - N.
 - Mg.
 - Mn.
- Ketika daun bagian bawah dari tanaman jagung muda menunjukkan warna kuning di bagian ujung dan sepanjang tepiannya, tanaman tersebut dapat kekurangan?
 - N.
 - P.
 - K.
 - Mg.
- Ketika tanaman gandum dalam fase perpanjangan batang tampak hijau gelap seragam di sebagian besar area namun kuning di daerah bagian rendah yang terendam air, kemungkinan besar penyebabnya adalah
 - kekurangan N.
 - kerusakan yang disebabkan serangga.
 - drainase yang buruk.
 - kerusakan yang disebabkan angin.
- Kekurangan hara yang menurunkan pertumbuhan tanaman dan hasil panen tanpa menampilkan gejala yang terlihat
 - disebut kelaparan tersembunyi.
 - disebabkan oleh hama dan penyakit.
 - terjadi hanya dengan hara mudah translokasi.
 - dapat diperbaiki di musim yang sama.

Pengambilan sampel tanah biasanya dilakukan sebelum penanaman pada tanaman semusim atau sebelum musim tumbuh aktif pada tanaman tahunan. Potensi terbesar terjadinya kesalahan pengujian tanah adalah dalam pengambilan sampel tanah.

Prosedur pengujian tanah yang akurat bergantung kepada sampel yang mewakili. Pengambilan sampel yang mewakili membutuhkan ketelitian dan keahlian. Pada umumnya, sampel mewakili lebih dari 10 juta kali jumlah tanah yang dikirim ke laboratorium. Jadi apakah sampel tanah diambil mewakili area sempit atau luas, sangat penting agar beberapa sampel diambil dari seluruh area lahan, dijadikan satu (digabung) dan dicampur dengan baik untuk benar-benar mewakili sampel untuk dianalisa. Jika sampel yang mewakili tersebut dikumpulkan, hasil dari uji dapat memberikan estimasi status hara tanah yang dapat dipercaya. Laboratorium pengujian tanah sering menyediakan instruksi pengambilan sampel yang meliputi langkah-langkah ini:



Gambar 8.2 Skema dasar pengambilan contoh tanah

Untuk Pengambilan Contoh (Sampel) di Lapangan

- Sampel tanah terpisah harus diambil di lapangan yang mempunyai perbedaan topografi tanah, jenis tanah atau warna, atau aktifitas pengelolaan yang diketahui. Jika sampling dilakukan untuk tanah yang luas, dapat dibagi menjadi wilayah tanah yang seragam atau wilayah tanam yang tergantung kepada kondisi spesifik wilayah tersebut. Setelah itu setiap sampel wilayah diberi label identifikasi permanen. Catat nomor lapangan. Simpan peta areal pengambilan sampel. Jika GPS tersedia untuk penggunaan, titik pengambilan sampel dapat direkam dan disimpan sebagai referensi di masa mendatang.
- Gunakan ember plastik yang bersih, terutama untuk uji hara mikro. Ember logam mungkin dapat mengkontaminasi sampel.
- Ambil sampel sampai pada kedalaman yang dianjurkan untuk uji tanah oleh laboratorium.
- Tambahan sampel tanah lapisan bawah diambil hingga sedalam akar tanaman yang akan diteliti jika ada potensi hara yang tersedia yang telah mengalami pencucian bawah. Uji ini lebih penting untuk hara yang mobil, seperti N, S, dan Cl, tetapi kurang penting untuk hara yang kurang mobil seperti P dan K, dan kebanyakan hara mikro.
- Pada kebanyakan kasus, paling sedikit 15-20 sampel seharusnya diambil secara acak untuk membuat sampel komposit campuran, yang kemudian untuk diambil sebagai subsampel untuk diuji di laboratorium.
- Sampel dapat diambil dengan menggunakan salah satu dari berbagai jenis alat sampling (contohnya, soil core probe, sekop, golok, dll). Sampel komposit seberat antara satu sampai beberapa kg.
- Campur secara merata semua material sampel dari satu area sampel untuk mendapatkan subsampel yang representatif untuk dianalisa. Langkah ini sangat penting. Gumpalan-gumpalan harus dipecahkan saat proses pencampuran dilakukan. Pencampuran yang tidak baik akan memperoleh sampel yang tidak representatif. Jika tanah terlalu basah untuk dicampur, dapat dikering-darakan terlebih dahulu.
- Beberapa jenis wadah dapat digunakan untuk mengirimkan sampel ke laboratorium. Beberapa laboratorium menyediakan kantong plastik yang ditaruh di dalam kotak kertas, atau kotak kertas yang memiliki lapisan plastik yang melekat di bagian dalamnya. Jika wadah tidak disediakan oleh laboratorium, dapat menggunakan dua buah kantong plastik yang bagus. Kantong plastik bagian dalam berisi sampel sedangkan bagian luarnya menjadi lembaran informasi dan identifikasi sampel.

Tabel 8.2 Perbandingan ekstraktan yang digunakan, waktu ekstraksi dan rasio tanah dengan ekstraktan yang ditentukan oleh sembilan uji P tanah terkalibrasi

Nama Uji	Ekstraktan	Referensi	Kondisi pH tanah yang harus dipertimbangkan
Olsen P	0,5 M sodium bikarbonat (pH 8,5) 0,5 jam ekstraksi pada tanah:larutan 1:20	Olsen et al. 1954. USDA Circular No. 939	Digunakan pada tanah yang sedikit asam, netral, sedikit sampai sangat alkalin, serta tanah yang alkalin dan kaya kalsium (yaitu tanah pH 6,0 sampai >7,2)
Colwell P	0,5 M sodium bikarbonat (pH 8,5) 16 jam ekstraksi pada tanah:larutan 1:100	Colwell 1963. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 3, 190-198	
Lactate P	0,02 M kalsium laktat 1,5 jam ekstraksi pada tanah:larutan 1:50	Colwell 1970. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 10, 774-782	
Bray P1	0,03 M amonium fluorida pada 0,025 M HCl 1 menit ekstraksi tanah:larutan pada 1:7	Bray and Kurtz 1945. Soil Sci. 59, 39-45	Tanah sedikit asam sampai sedikit alkalin (yaitu tanah pH <7,2). Kurang tepat untuk tanah alkalin dengan kadar kalsium karbonat tinggi.
Bray P2	0,03 M amonium fluorida pada 0,1 M HCl 40 detik ekstraksi tanah:larutan pada 1:7 ATAU 1 menit dengan tanah:larutan pada 1:10	Bray and Kurtz 1945. Soil Sci. 59, 39-45; Chu, P. 1997. A&L Labs, Richmond, VA	Tanah asam sampai sedikit alkalin (yaitu tanah pH <7,2) metode Bray 2 menggunakan 0,1 HCl dibandingkan dengan 0,025 M HCl untuk Bray 1. Ini akan melarutkan senyawa P berlebih pada tanah alkalin. Kurang tepat untuk tanah alkalin dengan kadar kalsium karbonat tinggi.
Mehlich-1 P	0,05 M HCl pada 0,0125 M H ₂ SO ₄ 5 menit ekstraksi pada tanah:larutan pada 1:4	Mehlich 1953. North Carolina Soil Test Div. Publ. 1-53	Tanah sedikit asam sampai sedikit alkalin (yaitu tanah dengan pH <6,0 sampai 7,2)
Mehlich-3 P	0,2 M asam asetat, 0,25 M NH ₄ -NO ₃ , 0,015 M NH ₄ F, dan 0,13 M HNO ₃ dalam 0,001 M EDTA 5 menit ekstraksi pada tanah:larutan 1:10	Mehlich 1984. Comun. Soil Sci. Plant Anal. 15, 1409-1416	Tanah asam sampai sedikit alkalin (yaitu tanah dengan pH <7,2). Mampu mengekstrak dan menganalisis multi-elemen dibandingkan dengan metode Mehlich 1 P. Kurang tepat untuk tanah dengan kadar kalsium karbonat tinggi.
Pengenceran CaCl ₂ P	0,005 M kalsium klorida selama 18 jam ekstraksi pada tanah:larutan 1:5	Moody et al. 1988. Aust. J. Exp. Agric. 23, 38-42	
P yang dapat diekstraksi dengan asam	0,005 M asam sulfur selama 16 jam ekstraksi pada tanah:larutan 1:200	Kerr and von Steiglitz 1938. BSES Tech. Comm. No 9	
Resin pertukaran ion	Campuran resin anion dan kation	Van Raij et al. 1986. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 17(5)	
Morgan	0,54 M CH ₃ COOH + 0,72 M NaCH ₂ COOH - pH 4.8 selama 0,25 jam ekstraksi pada tanah:larutan 1:5	Morgan, 1941. Connecticut Ag. Exp. Sta. Bull. 450	
Morgan modifikasi	0,62 M NH ₄ OH + 1,25 M CH ₃ COOH - pH 4.8 selama 0,25 jam ekstraksi pada tanah:larutan 1:5	McIntosh, 1969. Agron J. 61:259-265	

- i) Untuk mencegah kontaminasi hara mikro dari tangan, gunakan sarung tangan karet saat penanganan sampel.
- j) Dengan sendok campur tanah dari ember dan ayunkan dengan lengan ke depan dan ke belakang di atas wadah sampel yang terbuka, jatuhkan tanah sehingga sebagian tanah yang sudah dicampur tersebut jatuh ke wadah sampel dan sisanya ke samping wadah. Ulangi prosedur ini sehingga satu porsi dari keseluruhan sampel dari ember berkontribusi terhadap subsampel, dan berat sampel pada wadah mencapai sekitar 0,5 kg.
- k) Dianjurkan untuk menyimpan sampel tanah dalam pendingin atau kulkas sampai sampel tersebut dikirim

ke laboratorium. Jika waktu pengiriman lebih dari beberapa hari sejak pengambilan sampel hingga ke laboratorium, sampel tanah diratakan di nampan yang rata untuk kemudian dikering-anginkan. Informasikan ke laboratorium jika sampel sudah dikering-anginkan.

- l) Isi lembar informasi dengan lengkap.
- m) Sebagian besar lahan harus di ambil sampelnya setiap 2-3 tahun... Lebih sering jika diperlukan.
- n) Simpan catatan hasil.

Untuk Diagnosis Pertumbuhan Buruk atau Area yang Bermasalah

- a) Ambil sampel yang terpisah dengan menggunakan teknik di atas, dari area yang baik dan buruk.
- b) Ambil kedua sampel permukaan dan tanah bawah.
- c) Masukkan keterangan gejala pertumbuhan buruk yang diamati dan kirim keterangan bersama dengan sampel.
- d) Jika kamera digital tersedia, foto dapat diambil dari tanaman pada kedua area yang tanamannya tumbuh buruk dan yang baik, dan biasanya membantu diagnosa permasalahannya.

Pengambilan Sampel Tanah Ketika Menggunakan Pemupukan Lajur

Karena beberapa elemen seperti P tanah relatif immobil, dimana pemupukan secara lajur dengan penempatan yang teliti, pengambilan sampel tanah memerlukan perhatian khusus. Dalam kasus ini, pengambilan sampel secara acak dapat memberikan hasil uji yang tinggi jika hanya sedikit lajur yang diambil sampelnya. Dimana lokasi lajur atau jalur lubang diketahui, penelitian yang dilakukan di Australia menunjukkan bahwa rasio lubang dalam-lajur dengan lubang antar-lajur 1:20, 1:16 dan 1:8 harus diperhatikan lajur berjarak berturut-turut 75 cm, 60 cm, or 30 cm. Sebagai alternatif, dapat diambil potongan melintang jalur agar dapat mengikutkan tanah yang dibuat lajur dan tidak dibuat lajur. Namun, ketepatan metode ini belum teruji untuk memprediksi pengaruh pupuk secara relatif terhadap metode pengambilan sampel yang lain.

8.3 Analisis Tanah

Terdapat berbagai jenis analisis tanah yang tersedia, dan pemilihan analisis yang tepat sangat penting untuk mengumpulkan informasi yang bagus. Ada baiknya mendiskusikan hal ini dengan praktisi pertanian laboratorium uji tanah atau manajer. Kebanyakan laboratorium secara rutin menggunakan ekstraksi tertentu dan prosedur analisis untuk setiap hara atau kelompok hara, namun dapat menggunakan prosedur lainnya jika kondisi tanah tertentu ditemui. Bagaimana ekstraktan dikalibrasi?

Analisis tertentu dikembangkan dengan cara mengambil tanah dan dengan menggunakan berbagai prosedur analitis untuk mengekstraksi sebagian dari hara yang ingin diteliti dan dihubungkan kembali kepada bobot dari tanah yang dianalisis. Idealnya, kadar hara yang diukur dikalibrasi dengan suatu seri percobaan lapangan regional yang mengevaluasi tanggap terhadap hara tertentu yang diteliti. Percobaan kalibrasi ini berkaitan dengan aplikasi dari bentuk hara tersedia pada dosis yang meningkat, sebagai contoh, dari dosis nol sampai dosis berlebihan dengan menggunakan interval peningkatan dosis yang sama.

Pemilihan dari suatu uji tanah tertentu biasanya bermaksud untuk memilih proses ekstraksi tertentu yang mengidentifikasi yang terbaik apa yang dapat diakses oleh akar tanaman dari larutan tanah dan seringnya sebagian dari hara dalam bentuk kurang tersedia dalam tanah dapat menjadi tersedia sepanjang musim tanam. Pada lingkungan yang berbeda dan jenis tanah yang berbeda, prosedur tertentu memberi penilaian ketersediaan hara yang lebih baik, terutama jumlah yang dapat diakses dari kompleks yang tersedia saat musim penanaman yang akan memperbaharui kompleks larutan tanah. Sebagai contoh fosfor, ada dalam berbagai bentuk organik dan anorganik dalam tanah. Tidak ada satu reagen tunggal yang dapat memprediksi jumlah P tersedia bagi tanaman untuk

Pertanyaan



5. Jumlah inti sampel yang direkomendasikan untuk mewakili wilayah lapangan adalah
 - a. 5 sampai 10.
 - b. 15 sampai 20.
 - c. 30 sampai 40.
 - d. sebanyak yang diperlukan untuk mengisi kotak sampel.
6. Sampling dengan kedalaman konsisten dan yang direkomendasikan penting untuk
 - a. N dan S.
 - b. P dan K.
 - c. hara mikro.
 - d. semua hara.
7. Dibandingkan dengan hara yang kurang mobil seperti P dan K, sampling untuk hara mobil seperti nitrat, sulfat, dan klorida harus
 - a. lebih dangkal.
 - b. kedalaman yang sama.
 - c. lebih dalam.
 - d. dilakukan lebih jarang.

semua kondisi. Sebagai hasilnya, berbagai ekstraktan telah dikembangkan untuk digunakan pada situasi tertentu dan beberapa contoh dari ekstraktan ini dijelaskan pada **Tabel 8.2**. Setiap rangkaian prosedur ekstraksi memiliki nilai kritis masing-masing, sehingga ketika hasil uji didapatkan, harus dibandingkan dengan nilai kritis yang diturunkan dari uji lapangan untuk tanaman ditanam. Maka, pastikan anda mengetahui uji apa yang digunakan untuk interpretasi terbaik hasil yang disajikan.

Walaupun uji tanah memberi informasi yang berguna, terdapat beberapa asumsi di dalam interpretasinya. Pertama, uji tanah biasanya diambil dari tanah lapisan atas, di mana umumnya kebanyakan dari hara kurang mobil (kurang bergerak, contoh: P) berada. Namun demikian, hara bergerak seperti N dan S dapat berpindah ke bawah dari kedalaman sampling sehingga tanah yang diuji mengindikasikan ketersediaan hara lebih rendah daripada yang terdapat di lapangan. Sebuah uji tanah lapisan atas (*topsoil*) membuat asumsi bahwa proporsi hara pada tanah yang diuji proporsional terhadap jumlah total tersedia untuk tanaman sampai ke kedalaman pengakaran efektif tanaman.

Kedua, sebuah uji tanaman dapat memberikan estimasi yang wajar atas potensi penyediaan hara, tetapi tidak memberi estimasi kebutuhan yang diperlukan oleh tanaman atau ladang. Pada lingkungan yang berbeda, permintaan dapat beragam sampai tiga atau empat kali lipat untuk hara, dan uji tanah biasanya dikalibrasi untuk penyediaan hara dengan musim “rata-rata” dengan harga pupuk dan biji-bijian rata-rata.

Pada saat kurva respons dikembangkan, biasanya diasumsikan bahwa hara lain atau kondisi tanah tidak membatasi dan hasilnya dilihat sebagai konsekuensi dari penambahan hara yang paling membatasi. Selain itu, suatu hasil uji tanah seharusnya diinterpretasi berdasarkan tekstur tanah dan pH tanah, karena seringkali kedua karakteristik ini dalam menentukan respon potensial.

Terakhir, “angka” yang diberikan pada laporan uji tanah memiliki kesalahan disekitarnya yang berhubungan dengan semua faktor yang telah disebutkan sebelumnya, serta ketidakpastian mengenai dosis pemberian hara di waktu mendatang dalam bentuk kurang tersedia dalam tanah. Hal ini seharusnya diinterpretasikan dalam kisaran – sering diberi istilah sangat rendah, rendah, medium, tinggi, atau sangat tinggi, tetapi lebih akurat ditandai menurut ukuran dan probabilitas dari tanggap yang diharapkan (**Tabel 8.3**). Hasil yang terbaik dapat dicapai ketika hasil uji diambil selama beberapa tahun untuk menampilkan kecenderungan tingkat kesuburan di bawah manajemen yang berlaku, daripada mengharapkan satu nilai tunggal untuk memberi prediksi secara tepat dosis aplikasi yang diperlukan.

Tabel 8.3 Suatu contoh kelas uji tanah dan probabilitas tanggap

Kelas uji tanah	Probabilitas tanggap
Sangat rendah	Tanggap menguntungkan pada semua kasus kecuali pada kasus yang langka
Rendah	Tanggap menguntungkan pada kebanyakan musim
Medium	Tanggap rata-rata bertahun-tahun menguntungkan
Tinggi	Kadang-kadang tanggap menguntungkan
Sangat Tinggi	Tanggap menguntungkan selama musim aplikasi kemungkinan tidak ada

8.4 Analisis Tanaman

Istilah “analisis tanaman” mengacu pada analisis menyeluruh atau kuantitatif untuk hara pada jaringan tanaman. Uji tanah dan analisis tanaman saling melengkapi. Salah satunya bukan merupakan pengganti bagi yang lain. Keduanya merupakan alat yang bermanfaat untuk diagnosis, dan banyak produsen menggunakan keduanya. Analisis tanaman telah digunakan untuk tanaman kopi, jeruk, persik, apel, kacang pecan, serta kacang dan buah lainnya. Karena sifat tanaman tahunan dan sistem akar yang ekstensif, analisis tanaman berguna terutama untuk menentukan status haranya.

Para ilmuwan telah memiliki metode analitis dan peralatan yang baru seperti absorpsi atom, dan terutama spektrograf emisi, yang dapat menganalisis untuk 10 atau lebih elemen secara serentak dalam hitungan detik. Maka, sejumlah laboratorium di berbagai negara telah memiliki kemampuan untuk menjalankan analisis tanaman. Permintaan untuk jasa ini akan terus meningkat seiring riset menekankan kesempatan untuk mengelola ketersediaan hara saat musim penanaman.

Analisis tanaman digunakan untuk:

- mengkonfirmasi diagnosis yang disusun dari gejala yang tampak;
- mengidentifikasi defisiensi tersembunyi di mana tidak terlihat gejala;
- menentukan apakah hara yang diaplikasi telah diserap oleh tanaman;
- mempelajari fungsi internal hara dalam tanaman;
- menyarankan uji atau penelitian tambahan dalam mengidentifikasi permasalahan produksi tanaman.

Seperti uji tanah, fase penting dalam analisis tanaman adalah pengumpulan sampel. Komposisi tanaman bervariasi berdasarkan umur, bagian tanaman yang disampel, kondisi

tanaman, varietas tanaman, cuaca, dan faktor lainnya. Oleh karena itu, perlu mengikuti instruksi pengambilan sampel yang telah terbukti.

Kebanyakan laboratorium menyediakan petunjuk pelaksanaan pengambilan sampel untuk tanaman, ditambah petunjuk informasi dan petunjuk untuk pengiriman sampel. Laboratorium umumnya akan menyarankan untuk mengirim sampel dari dua area bermasalah maupun tidak sebagai perbandingan jika memungkinkan. Karena pengalaman dan pengetahuan adalah vital dalam mengambil sampel tanaman dengan benar, pekerjaan ini seringkali dilaksanakan oleh penasehat atau konsultan pertanian.

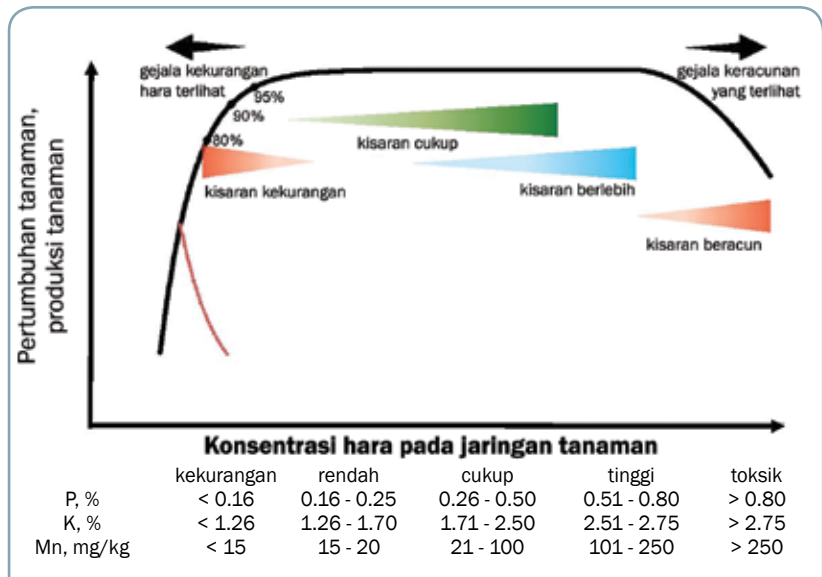
Analisis tanaman merupakan subjek dari program riset yang cukup meluas di antara ahli hara tanaman sekarang ini. Banyak hal yang masih belum ditemukan mengenai alat diagnostik ini. Riset yang masih berjalan secara konstan membuka fakta baru dan membangun standar yang direvisi dan diperbaiki. Data analisis tanaman seharusnya diinterpretasi oleh ilmuwan yang terlatih di bidangnya dan memahami faktor-faktor yang berkaitan. Hal ini merupakan tambahan yang bernilai terhadap alat diagnostik yang tersedia.

Kisaran Kecukupan dan Kekurangan

Biasanya, analisis tanaman diinterpretasikan dengan perbandingan konsentrasi elemen dengan kisaran kecukupan standar untuk bagian tanaman, spesies tanaman, dan tahap pertumbuhan yang dibangun oleh riset. Bilamana nilai riset terstandarisasi untuk suatu situasi tidak tersedia, analisis tanaman masih dapat berguna dalam mengidentifikasi permasalahan stres hara jika sepasang sampel tanaman dapat diambil dari dua area dengan pertumbuhan baik dan buruk di dalam lapangan atau dari lapangan sekitarnya.

Nilai kritis spesifik untuk kekurangan, kecukupan, dan keracunan paling baik didapatkan dari panduan produksi tanaman lokal atau regional. Tingkat kritis untuk defisiensi biasanya ditentukan pada produksi atau pertumbuhan 90% dari haranya tidak membatasi. **Gambar 8.3** menunjukkan contoh hubungan antara konsentrasi hara dan pertumbuhan relatif atau produksi tanaman, dengan nilai tertentu untuk P, K, dan Mn pada kedelai (Marschner, 1995).

Pada beberapa hara, ada kemungkinan peningkatan konsentrasi bukan penurunan dengan adanya kekurangan hara ekstrim, jika kekurangan menghambat pertumbuhan sampai pada tahap di mana pelarutan normal mineral oleh pertumbuhan tanaman tidak terjadi. Di sisi lain, dalam kondisi pertumbuhan yang sangat baik pelarutan pertumbuhan dapat menyebabkan beberapa hara untuk tampak kekurangan walaupun kenyataannya



Gambar 8.3 Hubungan antara konsentrasi hara pada jaringan tanaman dan pertumbuhan atau produksi, dengan data contoh dari Jones (1967) untuk konsentrasi P, K dan Mn dalam bobot kering daun kedelai dalam berbagai kisaran penyediaan hara. (Diadaptasi dari: Marschner, 1995)

tidak. Dengan alasan ini, diagnosis dari area bermasalah terkadang lebih akurat jika sebagian area terpengaruh, bukan yang paling parah terkena dampak yang dibandingkan dengan area normal di sekitarnya.

Tingkat hara pada kisaran *luxury* (berlebih) menurunkan risiko bahwa hara ini akan menjadi kekurangan dalam kondisi yang tidak sesuai untuk serapan akar (contoh: kekeringan) atau ketika kebutuhan internal sedang tinggi (contoh: saat pembesaran buah atau pengisian kernel).

Sistem Integrasi Rekomendasi dan Diagnosa (DRIS)

Hasil dari analisis tanaman sulit untuk diinterpretasikan, karena konsentrasi kritis dari hara dalam jaringan tanaman bervariasi dengan adanya perubahan konsentrasi hara-hara yang lain. Diagnosis yang dibuat menggunakan Sistem Integrasi Rekomendasi dan Diagnosa (*Diagnosis and Recommendation Integrated System, DRIS*) berbasis pada rasio relatif dari konsentrasi elemen hara bukan pada konsentrasi absolut per unit bobot kering jaringan tanaman. Norma rasio-rasio ini dibangun dengan membandingkan analisis-analisis lengkap dari tanaman pada situasi produksi tinggi dan rendah. Karena rasio digunakan, pengenceran bobot kering seiring bertumbuhnya tanaman memiliki efek yang sedikit pada interpretasi, dan waktu sampling menjadi lebih fleksibel (Sumner, 1977).

Pada mulanya, disarankan agar norma DRIS yang terbentuk di satu lokasi geografis seharusnya dapat diaplikasikan dengan baik pada wilayah lainnya. Namun demikian, hasil dari berbagai penelitian jagung, gandum, kedelai, alfalfa, dan kentang, mengindikasikan bahwa norma yang dikembangkan secara lokal atau regional

lebih akurat dalam mendiagnosa defisiensi (Munson and Nelson, 1990; Jones, 1993).

Di beberapa negara, termasuk Amerika Serikat, Brazil, Kanada, China, dan India, penasehat pertanian umum dan swasta telah mengadopsi DRIS sebagai bagian dari teknik diagnostiknya pada wilayah-wilayah terpilih.

Kini, DRIS sudah dapat digunakan bersamaan dengan GIS untuk mendelineasi (membuat garis batas) zona produktivitas pada tanaman tertentu di suatu wilayah. Pembuatan garis batas ini membantu mengidentifikasi lokasi berpotensi untuk digunakan dalam perencanaan pemanfaatan lahan dan pengawasan kecenderungan dalam produktivitas tanaman.

Meskipun beberapa pekerja telah menunjukkan bahwa DRIS sering menghasilkan diagnosis lebih akurat untuk kekurangan hara daripada pendekatan konvensional, kompleksitas dari metodologi DRIS membatasi penggunaannya. Berbagai modifikasi pada metodologi DRIS yang dapat menyederhanakan penggunaan dan interpretasinya telah dicanangkan. Beberapa modifikasi ini termasuk penyederhanaan kalkulasi pada fungsi intermediate, modifikasi seleksi parameter, dan modifikasi kriteria untuk memprediksi tanggap terhadap pupuk tambahan. Selain itu, program komputer sedang dikembangkan agar kalkulasi DRIS “hanya tinggal diklik saja”.

Penyempurnaan detail DRIS termasuk Diagnostik Hara Komposit (*Compositional Nutrient Diagnostic*, CND) sedang diaplikasikan di propinsi Quebec di Kanada (Parent, et al. 2009).

Uji Cepat

Uji jaringan lapangan merupakan penentuan dari jumlah hara tanaman yang terdapat pada getah tanaman, pengukuran semi-kuantitatif dari kandungan tidak terasimilasi yang larut.

Sejumlah besar hara tak terasimilasi pada getah tanaman mengindikasikan bahwa tanaman tersebut mendapatkan cukup banyak hara yang sedang diuji untuk pertumbuhan yang baik. Jika jumlahnya sedikit, ada kemungkinan bahwa tanah mengalami kekurangan hara atau tidak terserap oleh tanaman karena kurangnya kelembaban tanah atau faktor lain.

Uji jaringan dapat dilakukan dengan mudah dan cepat di lapangan. Jaringan tanaman hijau dapat diuji untuk beberapa hara seperti $\text{NO}_3\text{-N}$, P, K, dan terkadang Mg, Mn, and Fe. Namun demikian, diperlukan banyak latihan dan pengalaman untuk menginterpretasikan hasilnya, terutama untuk Mg dan hara mikro.

Uji jaringan digunakan untuk identifikasi satu hara (N, P, atau K) yang dapat membatasi produksi tanaman.

Jika salah satu hara sangat rendah, yang lainnya dapat terakumulasi di getah karena pertumbuhan tanaman terkendala, menyebabkan interpretasi yang tidak tepat. Jika tanaman tumbuh subur setelah defisiensi dikoreksi, mungkin akan ditemukan bahwa hara lain tidak ada dalam jumlah yang cukup untuk menghasilkan produksi tinggi. Apa yang diidentifikasi, atau tujuan uji, merupakan hara yang paling membatasi pada tahap pertumbuhan tertentu.

Uji-jaringan-di-tempat dapat sangat membantu bagi seorang ahli. Tanpa meninggalkan lapangan, kekurangan N dapat dideteksi dan dapat disarankan perbaikan. Penghematan waktu ini dapat berharga. Seperti dengan analisis total tanaman, sepadan untuk membandingkan tanaman sehat dengan tanaman buruk di mana memungkinkan.

Instruksi berisi perlengkapan (kit) dan peralatan untuk menjalankan uji jaringan telah tersedia. Banyak diantaranya termasuk instruksi dan peralatan uji untuk menentukan pH tanah, dan bahkan P, K, dan Zn tanah. Sebelum menggunakan uji ini, seseorang sebaiknya menjalani pelatihan yang memenuhi syarat untuk pengembangan keahlian diagnostik.

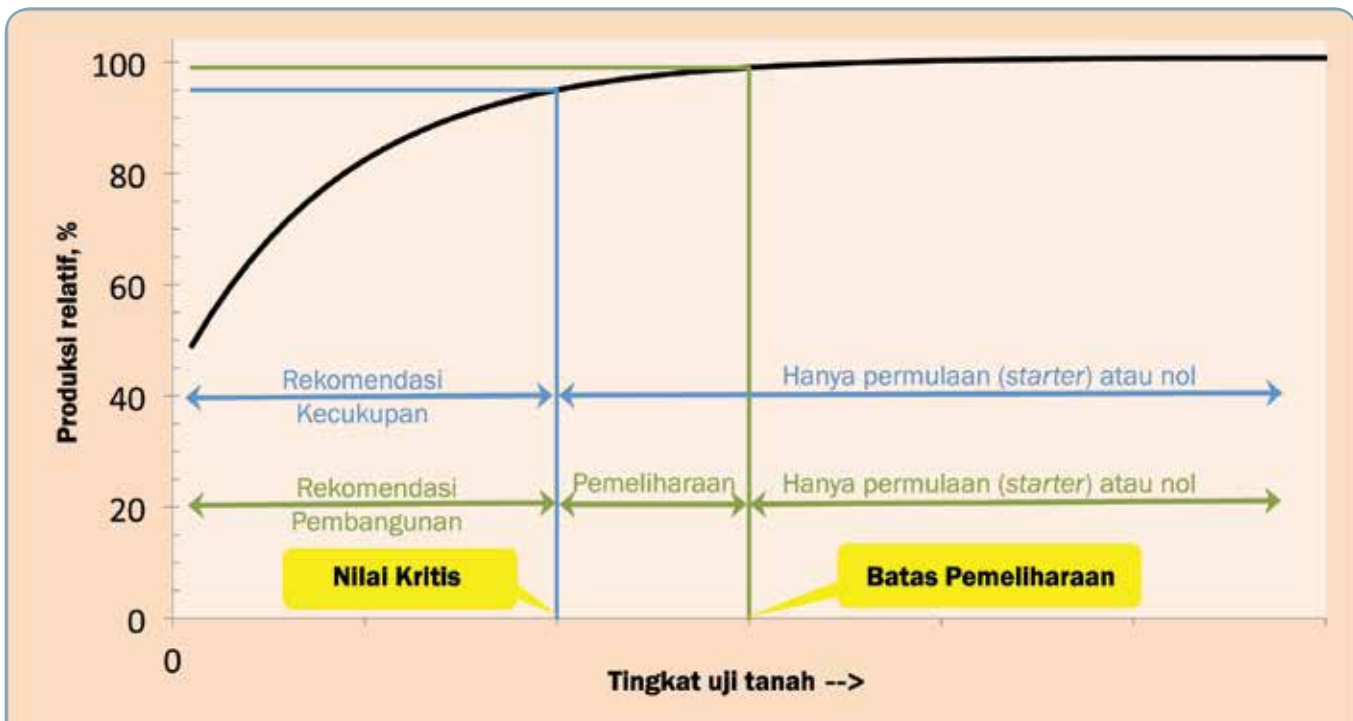
8.5 Menginterpretasi Hasil Uji Tanah dan Analisis Tanaman

Petani yang secara berkala mengambil sampel tanaman dan tanah untuk dianalisis karena mereka berminat untuk memastikan produksinya tidak terhambat oleh ketersediaan hara yang rendah. Mereka juga ingin meyakinkan bahwa hara pupuk yang mereka beli menghasilkan nilai ekonomis, dan bahwa kesuburan dan produktivitas tanah dijaga sambil melindungi lingkungan. Uji tanah jika digunakan secara tepat dapat menjadi petunjuk yang sangat baik untuk menentukan kebutuhan pupuk dan kapur serta untuk mengembangkan rancangan manajemen hara.

Rekomendasi yang layak seharusnya mencakup seluruh T—tepat sumber, dosis, waktu, dan tempat—dan turut mempertimbangkan tujuan kesinambungan kebun. Rekomendasi dimaksud memerlukan informasi menyeluruh sebagai tambahan dari hasil uji tanah, termasuk ketersediaan peralatan dan sumber hara di kebun, sistem pengelolaan tanah dan pertanaman, sifat fisik tanah, serta produksi tanaman dan target kualitas.

Sebuah rekomendasi dapat mencakup situasi berikut ini:

- memastikan semua hara dapat dijaga pada tingkat yang tidak membatasi mulai penanaman tanaman sampai panen;
- keseimbangan antar hara untuk memastikan penggunaan yang efektif dari masing-masing hara;



Gambar 8.4 Sejalan dengan meningkatnya kadar hara pada uji tanah, begitu juga dengan hasil relatif (hasil panen tanpa pemberian hara sebagai proporsi dari hasil ketika hara tidak dibatasi). Ukuran dan probabilitas tanggap tanaman berkurang dengan meningkatnya tingkat uji tanah. Rekomendasi kecukupan bertujuan untuk memberikan penghasilan ekonomi pada tahun pengaplikasian, dan mengurangi ke nol (atau jumlah yang lebih kecil dari pengambilan tanaman, biasanya ditempatkan di dekat benih, dan disebut starter) pada tingkat kritis. Sebuah pendekatan membangun-memelihara menganjurkan jumlah yang lebih besar dari pengambilan tanaman di bawah nilai kritis, jumlah yang sama dengan pembuangan tanaman pada kisaran pemeliharaan, dan jumlah yang lebih sedikit dari pengambilan tanaman dan menurun ke nol di atas batas pemeliharaan. (**Diadaptasi dari:** Leikam et al., 2003)

- c) jumlah yang dibutuhkan untuk membangun tingkat uji tanah rendah sampai ke kisaran optimum dalam jangka waktu beberapa tahun tertentu;
- d) kesempatan untuk menarik hara dalam tanah yang telah terakumulasi secara berlebihan atau kadar hara tanah tak gerak (*immobile*) seperti P dan K yang sangat tinggi.

Respon tanaman terhadap hara seperti P dan K juga dipengaruhi oleh berbagai faktor selain tingkat uji tanah. Respon dapat saja lebih besar atau lebih kecil, atau memerlukan lebih banyak atau lebih sedikit penambahan hara, tergantung pada potensi produksi, tanggal penanaman, tanaman sebelumnya, praktek pengolahan tanah, pemadatan tanah, suhu, kadar kelembaban tanah, pH tanah dan kadar hara lainnya dalam tanah. Karena faktor-faktor tersebut, uji tanah berlaku lebih sebagai suatu prediksi akurat dari probabilitas respon tanaman, dibandingkan dengan prediksi akurat ukuran aktual dari respon tanaman dan jumlah hara yang diaplikasikan untuk mencapainya. Oleh karena itu, merupakan hal kritis bahwa hasil uji tanah diinterpretasikan dengan cermat oleh seorang praktisi pertanian yang terlatih dan berpengalaman.

Para petani juga berbeda dalam tujuan dalam produksi tanaman. Sebagian memiliki lebih banyak waktu, minat, dan kemampuan untuk mengelola tanaman sampai

sangat dekat dengan hasil maksimum yang dapat dicapai. Sebagian memiliki kebutuhan penting lain dalam pemanfaatan waktunya. Sebagian memiliki lebih banyak atau lebih sedikit akses terhadap luasnya input tanaman, dan kemampuan untuk membeli input tersebut juga beragam. Perbedaan ini dapat berpengaruh besar pada manajemen hara tanaman mereka.

Faktor-faktor tersebut mengarah pada perkembangan dua pendekatan yang khas dan dikenal secara luas untuk pengelolaan kesuburan tanah—pendekatan kecukupan hara dan pendekatan membangun-memelihara. Pemilihan cara pendekatan mempengaruhi sumber, dosis, waktu dan tempat aplikasi hara yang akan direkomendasikan. Dua bagian berikut ini, diadaptasi dari Leikam et al. (2003), menjelaskan kedua pendekatan tersebut.

Pendekatan Kecukupan

Tujuan dari pendekatan kecukupan hara adalah untuk mengaplikasikan sejumlah yang cukup hara untuk memaksimalkan profitabilitas pada tahun aplikasi, tetapi meminimalisasi biaya hara atau pupuk. Walaupun variabilitas yang melekat pada respon hara antar dan dalam kebun dan dari waktu-ke-waktu dapat menyebabkan lebih banyak atau lebih sedikit hara yang nyata dibutuhkan untuk profitabilitas maksimum daripada yang direkomendasikan, dosis yang hampir optimal

akan direkomendasikan selama jangka waktu yang lebih panjang. Kecuali tingkat uji tanah awal tinggi dan tanah dapat menyediakan semua kebutuhan hara tanaman saat pendekatan ini diadopsi, terdapat sedikit fleksibel aplikasi hara dari tahun-ke-tahun karena aplikasi dibutuhkan setiap tahun untuk mengeliminasi kekurangan hara yang merugikan. Pilihan penempatan juga terbatas, karena taraf uji tanah yang rendah menjadi lebih penting untuk menempatkan hara dalam lajur dekat biji.

Rekomendasi kecukupan hara didasarkan pada data kalibrasi uji tanah lapangan yang dikumpulkan selama bertahun-tahun dari berbagai lokasi. Untuk menyelesaikan perubahan yang rumit dan perubahan yang konstan pada masalah aplikasi pengembalian marginal, rekomendasi ini umumnya dikembangkan untuk memberi 90 sampai 95% produksi maksimum, atau tingkat produksi yang umumnya didapatkan pada dosis hara optimal secara ekonomis. Respon tanah dan dosis aplikasi hara yang direkomendasikan sangat tinggi pada tingkat uji tanah sangat rendah, sementara dosis aplikasi hara yang direkomendasikan turun ke nol ketika tingkat uji tanah meningkat sampai ke nilai uji tanah kritis. Tingkat kritis merupakan nilai uji tanah di mana tanah secara normal mampu menyediakan jumlah P dan/atau K yang cukup untuk menghasilkan 90 sampai 95% produksi maksimum. Untuk rekomendasi kecukupan hara, nilai uji tanah tidak dipandang sebagai variabel terkelola dan nilai uji tanah di masa akan datang hanya sedikit dipertimbangkan.

Pendekatan kecukupan sering digunakan pada situasi dimana dana untuk investasi tidak tersedia atau memiliki biaya bunga tinggi, atau saat kepemilikan/penguasaan lahan di masa dapat tidak terjamin (contoh: ketika lahan disewa dengan perjanjian kontrak satu atau dua tahun).

Membangun-memelihara

Tujuan dari program kesuburan membangun-memelihara adalah untuk mengelola tingkat uji P dan/atau K tanah sebagai variabel terkontrol. Pada nilai uji tanah rendah, rekomendasi membangun-memelihara dimaksudkan untuk mengaplikasikan P dan/atau K yang cukup untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman langsung dan untuk membangun tingkat uji tanah menjadi nilai yang tak membatasi, diatas tingkat kritis. Tingkat kritis ini sama dengan yang digunakan pada pendekatan kecukupan, dan penentuannya memerlukan data lapangan kalibrasi uji tanah yang serupa. Pendekatan membangun-memelihara ini cenderung kurang sensitif secara ekonomis terhadap ketidakpastian dalam rekomendasi, dikarenakan berkurangnya risiko terhadap kehilangan produksi pada tingkat uji tanah yang lebih tinggi. Umumnya, akumulasi nilai uji tanah muncul selama jangka waktu yang telah direncanakan (biasanya 4 sampai 8 tahun). Ketika nilai uji tanah melebihi nilai kritis, rekomendasi hara dibuat untuk memelihara agar tingkat uji tanah berada pada target, atau jangkauan manajemen.

Pertanyaan

8. Ekstraktan yang berbeda digunakan dalam analisis tanah untuk P tersedia diinterpretasikan menggunakan perbedaan pada
 - a. kedalaman sampling.
 - b. nilai kritis.
 - c. hara pembatas.
 - d. perkiraan kebutuhan hara.
9. Dalam analisis tanaman, tingkat kritis untuk kekurangan K biasanya menghasilkan 90% dari hasil panen dibandingkan dengan
 - a. hasil maksimum.
 - b. hasil ekonomi maksimal.
 - c. hasil dengan semua hara yang tidak membatasi.
 - d. hasil dalam kondisi yang sama dengan K yang tidak membatasi.
10. Dalam program kesuburan tanah membangun-memelihara, ketika uji tanah P berada diatas taraf pemeliharaan, jumlah P yang direkomendasikan seharusnya
 - a. menjadi nol atau starter saja.
 - b. mengisi pengambilan tanaman.
 - c. terus menyusun uji tanah P.
 - d. mencegah penurunan uji tanah P.

Kisaran target uji tanah umumnya adalah kisaran pada dan sedikit diatas nilai uji tanah kritis, di mana tanah umumnya menyediakan hara yang cukup untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman berkembang (tingkat 'medium' sampai 'tinggi'). Ketika uji tanah untuk suatu hara telah terbentuk sampai ke kisaran target, petani memiliki kebebasan lebih leluasa untuk menentukan kapan dan bagaimana pupuk diaplikasikan. Diatas tingkat kritis, tanah sangat mampu untuk menyediakan hara yang dibutuhkan dalam setahun. Petani kemudian dapat memilih untuk mengaplikasikan pupuk setiap tahun, atau untuk menggabungkan aplikasi dan mengaplikasikan pupuk hanya setiap dua atau tiga tahun. Hal ini memberi fleksibilitas untuk mengelola waktu, aliran dana, dan fluktuasi harga pasar untuk pupuk dan tanaman.

Program kesuburan membangun-memelihara tidak dimaksudkan untuk memberi pengembalian ekonomis optimal pada tahun tertentu, namun lebih untuk berupaya meminimalkan kemungkinan P dan/atau K sebagai pembatas pertumbuhan tanaman sambil menghasilkan produksi mendekati maksimum, fleksibilitas petani yang

tinggi, dan penghasilan ekonomi yang baik dalam jangka waktu panjang. Kekurangan dari program membangun-memelihara tanah adalah dibutuhkannya dosis aplikasi yang normalnya lebih tinggi dari yang direkomendasikan pada program kecukupan hara.


Memilih Pendekatan yang Tepat

Selang waktu yang lama, kedua pendekatan memberi kesempatan petani untuk memilih antara sistem yang merekomendasikan dosis aplikasi hara lebih rendah pada tingkat uji tanah rendah, namun membutuhkan aplikasi pupuk tahunan (program kecukupan hara), versus menginvestasikan dengan dosis lebih tinggi selama 4 sampai 8 tahun dengan tujuan untuk mendapatkan fleksibilitas dan potensi penghematan biaya dari pengaplikasian multi-tahunan di saat paling nyaman dan ekonomis (program pembangunan-pemeliharaan). Nilai uji tanah kritis dan kaitannya dengan dosis yang diaplikasikan ditampilkan secara konseptual dalam **Gambar 8.4**.

Sementara perbedaan jangka pendek pada biaya di antara kedua pendekatan dapat terukur, keuntungan dari fleksibilitas pada program kesuburan secara keseluruhan, biaya aplikasi yang berkurang, perbaikan ketepatan waktu, dan manajemen keuangan dapat menjadikan investasi pada program membangun-memelihara setimpal. Saat petani memahami kedua pendekatan, mereka dapat memutuskan apakah biaya membangun tingkat uji tanah merupakan investasi yang wajar. Jika perkebunan memiliki sumber hara pupuk kandang, pendekatan membangun dan memelihara secara ekonomis lebih diminati. Walaupun dengan hara pupuk kandang, disarankan untuk tidak melanjutkan aplikasi dengan dosis yang dapat meningkatkan uji tanah diluar ambang batas lingkungan (umumnya lebih tinggi dari batas pemeliharaan), untuk menghindari ketidakseimbangan hara dan peningkatan risiko kerusakan lingkungan (lihat bagian 9.8.2 dan **Gambar 9.2**).

Petani yang mencari keuntungan lebih besar akan sering membutuhkan lebih dari sekedar rekomendasi pemupukan. Mereka membutuhkan rencana pengelolaan hara lengkap di samping informasi tentang varietas yang tepat, praktek budidaya, waktu tanam, strategi perlindungan panen yang tepat, dll. Uji tanah hanyalah satu bagian dari rencana manajemen keseluruhan yang akan menjamin hasil produksi tinggi, menguntungkan dan efisien serta meminimalkan kehilangan hara yang dapat membahayakan lingkungan. Rencana pengelolaan hara akan dibahas lebih lanjut dalam Bab 9.

8.6 Plot Omisi

Jika analisis laboratorium tanah atau jaringan tanaman tidak memungkinkan, pasokan/penyediaan hara dari tanah dapat diperkirakan dengan menggunakan teknik plot omisi. Hal ini dilakukan dengan plot kecil dimana masing-masing hara yang dievaluasi dihilangkan pada plot, sementara semua hara lainnya diaplikasikan secara memadai. Satu petak diisi semua hara dan satu plot tidak menerima pupuk sama sekali. Jika tidak terdapat penurunan hasil ketika hara dihilangkan dibandingkan dengan hasil di plot dengan “semua hara”, dapat diasumsikan bahwa jumlah hara yang cukup dipasok dari tanah. 

PUSTAKA

- Jones, J.B., Jr. 1967. In, Soil Testing and Plant Analysis, Part II: Plant Analysis. SSSA, Madison, WI. p. 49-58.
- Jones, J.B., Jr. 1993. Aust. J. Exp. Agric. 33:1039-1043.
- Leikam, D.F., R.E. Lamond, and D.B. Mengel. 2003. Better Crops 87(3):6-10.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press, London. 889 pp.
- Munson, R.D. and W.L. Nelson. 1990. Ch. 14 In, Soil Testing and Plant Analysis, 3rd ed. SSSA Book Series, No. 3.
- Parent, L. E., Natale, W. and Ziadi, N. 2009. Can. J. Soil Sci. 89: 383-390.
- Sumner, M.E. 1977. Plant Soil 46:359-369.

Studi Kasus 8.1-1 Sejarah pertanaman mempengaruhi keputusan pada kedalaman pengambilan contoh tanah.

Pentingnya mengetahui sejarah pertanaman dari sebuah kebun ditunjukkan dalam contoh kasus dekat Calgary, Alberta di Kanada. Seorang pemilik tanah baru ingin menanam gandum sebagai jerami pakan hijau di lapangan seluas 65 ha. Sebuah fasilitas ritel pertanian lokal dihubungi untuk mengambil sampel tanah di lapangan dan mengembangkan rekomendasi pemupukan sebelum menanam tanaman oat pada pertengahan Mei. Seorang anggota staf ritel pergi ke lapangan dan mengambil 15 sampel tanah acak pada kedalaman 15 cm, dikumpulkan dan mengambil sub-sampel yang dikirim ke laboratorium uji tanah untuk analisis. Analisis uji tanah menunjukkan tingkat hara makro N, P, K, dan S yang tersedia. Berdasarkan level tersebut, rekomendasi pupuk adalah 132 kg N, 11 kg P_2O_5 , dan 17 kg K_2O /ha untuk target hasil 9 t/ha. Pupuk diaplikasikan dalam campuran barisan benih (*seed row blend*) terdiri dari campuran ammonium fosfat (11-52-0) dan kalium klorida yang menyediakan 2 kg/ha N/ha. N berimbang diaplikasikan sebagai pupuk urea pada dosis 282 kg/ha, memberikan 130 kg N/ha. Urea ditanam dengan pengolahan sebelum penanaman. Tanaman tumbuh dengan baik karena hujan awal musim panas diikuti dengan kering panas Juli dan Agustus. Hasil panen hay mendekati target.

Semua berjalan baik hingga petani memiliki analisis pakan dilakukan pada sampel jerami. Hasil analisis menunjukkan tingkat nitrat 6.000 mg/kg, jauh di atas tingkat yang dianggap aman pada umumnya yaitu 1.500 mg/kg nitrat untuk jerami pada pakan ternak sapi (Cash et al. 2007). Petani mengeluh bahwa rekomendasi N dari lokasi ritel pertanian terlalu tinggi dan menyebabkan tingkat nitrat yang berlebihan dalam jerami. Penyelidikan lebih lanjut oleh praktisi pertanian daerah dengan perusahaan ritel pertanian menemukan bahwa kebun telah ditanami alfalfa selama 5 tahun, diolah di akhir musim panas tahun kelima, dan diberakan selama satu tahun sebelum dijual ke pemilik baru. Di tahun tanah diberakan memiliki curah hujan di atas rata-rata dan karenanya praktisi pertanian menduga bahwa mineral N terbentuk dari alfalfa yang membusuk, pada tahun pembajakan, telah terbilas di bawah 15 cm kedalaman pengambilan contoh tanah. Pengambilan contoh tanah hingga kedalaman 120 cm oleh praktisi pertanian regional, di akhir musim panas dari tahun jerami oat, menunjukkan sisa nitrat N dalam tanah menjadi 80 kg/ha. Nitrat yang tinggi di dalam jerami adalah hasil dari nitrat yang cukup besar dalam tanah di bawah kedalaman pengambilan sampel asli, yang dikombinasikan dengan N dalam pupuk yang ditambahkan, N berlebihan tersedia untuk tanaman oat. Cuaca kering panas pada bulan Juli dan Agustus membuat akumulasi nitrat dalam oat semakin buruk.

Jika dilihat ke belakang, sejarah tanam lapangan diselidiki, dan berdasarkan informasi yang diketahui, akan lebih bijaksana untuk mengambil sampel tanah dengan kedalaman lebih dari kedalaman 15 cm. Dalam situasi semacam ini, tiga kedalaman sampel tanah yang disarankan adalah: 0 sampai 15, 15 sampai 60, dan 60 sampai 120 cm. Sisa N akan diperhitungkan dan rekomendasi N yang lebih rendah untuk tanaman oat akan diberikan.

PUSTAKA

Cash, D. et al. 2007. Nitrate Toxicity of Montana Forages, Montana State University. [On-line].

Disampaikan oleh T.L. Jensen, IPNI, Canada, February 2012.

CATATAN



Bab 9

PERENCANAAN PENGELOLAAN HARA DAN AKUNTABILITAS

Pengelolaan hara tanaman sesuai dengan prinsip Penataan Hara 4T termasuk akuntabilitas agar berdampak penuh terhadap keberlanjutan: ekonomi, lingkungan dan sosial. Bab ini membahas dan membandingkan pendekatan yang digunakan untuk perencanaan pengelolaan hara dan mengukur kinerja keberlanjutan.

9.1 Rencana Pengelolaan Hara

Di banyak daerah dimana intensitas produksi ternak dan unggas telah menghasilkan surplus hara (di mana lebih banyak hara yang diekspresikan dalam bentuk pupuk alami daripada yang diambil untuk tanaman di ladang), rencana formal pengelolaan hara wajib dibuat. Di beberapa daerah, kepatuhan yang baik dan dampak positif telah dicapai. Namun, perpanjangan dari pendekatan ini untuk pertanian kecil dan untuk operasi yang difokuskan terutama pada produksi tanaman masih terbatas. Hambatan partisipasi termasuk jumlah waktu yang dibutuhkan untuk menyusun informasi rinci, kurangnya fleksibilitas dalam membuat perubahan terhadap respon cuaca dan pasar, dan kurangnya koneksi ke rencana bisnis pertanian.

9.2 Rencana Penataan Hara 4T

Rencana Penataan Hara 4T bertujuan untuk melayani dua tujuan untuk semua operasi menggunakan hara tanaman. Pertama, melacak dan merekam semua praktek pengelolaan

tanaman yang diterapkan relevan dengan hara tanaman sebagai bagian dari siklus manajemen adaptif. Informasi ini terutama untuk kepentingan manajer dan penasihat, untuk digunakan dalam membuat keputusan-praktek untuk mengadopsi atau merevisi siklus produksi berikutnya, seperti dibahas dalam Bab 2 dan 7. Kedua, untuk keperluan rencana melacak kinerja, hasil dari implementasi serangkaian praktek.

Masyarakat semakin menginginkan informasi tentang kinerja dan perbaikan dari waktu ke waktu. Pembeli produk tanaman ingin tahu jejak lingkungan berdasarkan kinerja keseluruhan sistem. Sebagai contoh, perusahaan industri makanan besar telah meluncurkan atau sedang mempersiapkan untuk meluncurkan inisiatif global untuk mempromosikan pertanian berkelanjutan, untuk membantu bisnis menempatkan nilai ekonomi terhadap dampak lingkungan dan sosial dari rantai pasokan mereka. Dalam artikel 25 Agustus 2011, media publikasi *Businessgreen.com* menjelaskan salah satu inisiatif tersebut untuk dimasukkan:

... “Manajemen sumber daya, seperti air, energi dan emisi, serta produktivitas pertanian, pelestarian kesuburan tanah, dan keanekaragaman hayati. Hal ini juga akan mencakup dampak sosial, seperti efek pada masyarakat petani, hak asasi manusia, dan kepatuhan terhadap hukum lokal, standar dan peraturan.”

Proses penetapan tujuan keberlanjutan harus mencakup pemilihan target kinerja tertentu. Kinerja dinilai melalui pengukuran dan indikator terkait dengan hasil ekonomi, lingkungan dan sosial. Hal ini terkait dengan semua hasil yang dianggap penting untuk pemangku kepentingan (termasuk petani, agribisnis, pelanggan, dan konsumen).

Ketika prinsip Penataan Hara 4T diterapkan untuk pengembangan rencana untuk mengelola hara tanaman, informasi yang dikumpulkan dan dilaporkan ditargetkan untuk tujuan ekonomi, sosial, dan lingkungan yang paling penting. Dibalik produksi agronomi dan dampak lingkungan, keberlanjutan jangka panjang adalah pertimbangan mendasar, dan rencana pengelolaan hara harus menjadi bagian integral dari rencana bisnis pertanian. **Memfokuskan informasi kinerja pada prioritas ekonomi, lingkungan, dan sosial yang didirikan oleh pemangku kepentingan membedakan rencana Penataan Hara 4T dari rencana pengelolaan hara.**

Dalam Bab 2 telah dikemukakan bahwa konsep Penataan Hara 4T berkaitan dengan manajemen praktek – pilihan sumber hara, dosis, waktu dan penempatan – untuk tujuan keberlanjutan perusahaan. Langkah pertama dalam mengembangkan rencana Penataan Hara 4T adalah menyatakan tujuan keberlanjutan dari perusahaan, baik itu pertanian, lapangan golf, atau taman. Hal ini memerlukan tingkat komitmen yang tinggi dari produser atau manajer dan mendorong keterlibatan dengan para pemangku kepentingan. Sementara pemangku kepentingan dapat berkontribusi pada proses menetapkan tujuan, manajer memilih bentuk praktek. Tujuan keberlanjutan umum ditetapkan dalam kemitraan dengan orang-orang yang memiliki kepentingan dalam dampak dari usaha pada hal-hal yang penting bagi mereka. Tujuan spesifik perusahaan perlu penyesuaian dengan tujuan-tujuan umum tersebut.

Dampak dari manajemen pupuk dinyatakan dalam kinerja sistem tanam atau ekosistem tanah-tanaman-udara di mana mereka diterapkan. Kinerja termasuk peningkatan hasil, kualitas, dan keuntungan yang dihasilkan dari aplikasi pupuk dan luasannya pada efek jangka panjang pada tingkat kesuburan tanah dan kehilangan hara ke air dan udara. Hal ini juga termasuk dampak terhadap perekonomian dan sosial regional – sebagai contoh, makanan yang terjangkau. Tidak semua aspek kinerja dapat diukur pada setiap kebun, tetapi semua harus dinilai. Indeks yang bisa diterima secara ilmiah dan model komputer dapat digunakan untuk penilaian ini.

9.3 Ukuran Kinerja dan Indikator

Pengukuran kinerja adalah pengukuran terperinci dari hasil aktual pengimplementasian praktek manajemen tertentu untuk sistem tanam tertentu. Dapat sangat mahal dan sulit untuk dibuat. Pengukuran kinerja biasanya dilakukan oleh peneliti agronomi dan digunakan untuk memvalidasi praktek manajemen, sering kali dalam konteks lahan yang dikendalikan dirancang untuk meramalkan kemungkinan sejumlah besar situasi praktis tanaman pertanian. Sebuah contoh uji coba lapangan di stasiun percobaan dimana dua

atau lebih praktik dibandingkan, pengukuran termasuk hasil panen, serapan hara, kehilangan amonia dan nitrous oksida ke udara, kehilangan hara dalam limpasan dan drainase air, dll. Konsep 4T membantu memandu penelitian dan perluasan (*extension*) terhadap validasi praktik yang paling relevan untuk mencapai hasil ekonomi, sosial, dan lingkungan yang dianggap penting oleh pemangku kepentingan.

Indikator kinerja lebih sederhana daripada ukuran dan dapat dilakukan dengan lebih mudah pada peternakan yang sebenarnya. Pemangku kepentingan perlu setuju bahwa mereka mencerminkan aspirasi mereka untuk kinerja dan indikator berkorelasi dengan baik untuk pengukuran yang sebenarnya. Sebagai contoh, erosi tanah merupakan masalah besar dan sumber besar hilangnya hara, sebuah indikator mengukur sisa tanaman yang meliputi tanah pada saat kritis mungkin akan cocok.

Siapa yang memilih indikator?

Masukan dari pemangku kepentingan diperlukan untuk memilih indikator kinerja yang mewakili kemajuan pada tujuan yang dianggap penting oleh semua. Singkatnya, rencana Penataan Hara 4T melibatkan produsen tanaman dan penasihat mereka memilih kombinasi sumber-dosis-waktu-tempat yang tepat dari praktek yang divalidasi oleh penelitian yang dilakukan oleh para ilmuwan agronomi. Tujuan untuk kemajuan ekonomi, lingkungan, dan sosial

Pertanyaan



1. Rencana yang tepat untuk mengelola hara tanaman mencakup informasi tentang
 - a. praktek manajemen.
 - b. kinerja.
 - c. praktek manajemen dan kinerja.
 - d. rincian berat/sukar
2. Langkah pertama dalam mengembangkan rencana penataan hara 4T adalah untuk menyatakan kebun
 - a. indikator kinerja
 - b. tujuan keberlanjutan
 - c. target produksi
 - d. dosis pupuk
3. Indikator kinerja mencerminkan kemajuan manajemen pupuk dalam membantu meningkatkan
 - a. kualitas air.
 - b. kualitas udara.
 - c. produksi tanaman.
 - d. keberlanjutan.

dari perusahaan – dan yang berkaitan dengan indikator kinerja – dipilih untuk penyelarasan dengan tujuan keberlanjutan (*sustainability*) umum berdasarkan masukan pemangku kepentingan sistem produksi tanaman. Dokumen perencanaan implementasi praktek dan kinerja praktek berdasarkan indikator-indikator tersebut.

Apakah beberapa indikator yang memungkinkan?

Karena aplikasi pupuk memiliki beberapa dampak, tidak ada ukuran atau indikator tunggal yang memberikan refleksi kinerja lengkap. Tidak juga semua dampak bisa diukur. Pemangku kepentingan perlu memilih ukuran kinerja dan

indikator yang berhubungan dengan isu-isu yang menjadi perhatian terbesar. Daftar sebagian indikator yang bisa memilih disediakan pada **Tabel 9.1**. Adalah penting untuk menyadari bahwa tidak satupun dari hal ini dipengaruhi oleh manajemen pupuk saja. Semua dapat ditingkatkan dengan menerapkan Penataan Hara 4T, tetapi hal ini juga tergantung pada manajemen yang baik dari semua praktek yang diterapkan pada sistem tanam atau ekosistem tanaman. Sebagai contoh, program pupuk yang baik untuk *turfgrass* tidak akan menjamin pengendalian erosi jika kliping manajemen, atau pemilihan spesies, tidak pas. Contoh lain, pilihan kultivar gandum yang diadaptasi buruk akan menunjukkan efisiensi N yang buruk, terlepas dari pilihan terbaik untuk sumber, tingkat, waktu dan tempat aplikasi N.

Tabel 9.1 Contoh ukuran kinerja dan indikator untuk pengelolaan hara tanaman

Ukuran atau Indikator Kinerja*	Deskripsi
Hasil	Jumlah hasil yang di panen per unit lahan per unit waktu.
Kualitas	Gula, protein, mineral, vitamin atau atribut lainnya yang menambah nilai terhadap produk yang di panen.
Efisiensi Penggunaan Hara	Produksi atau pengambilan hara per unit pengaplikasian hara.
Efisiensi Penggunaan Air	Hasil per unit penggunaan atau ketersediaan air.
Efisiensi Penggunaan SDM	Produktifitas tenaga, berhubungan dengan jumlah dan waktu operasi lapangan.
Efisiensi Penggunaan Energi	Hasil panen per unit input energi.
Keuntungan Bersih	Volume dan nilai panen yang diproduksi relatif terhadap biaya semua produksi keseluruhan.
Laba Investasi	Keuntungan dalam hubungannya terhadap modal awal.
Adopsi	Proporsi produsen menggunakan atau area menerima BMP tertentu.
Produktifitas Tanah	Tingkat kesuburan tanah, dan indikator kualitas tanah lainnya.
Karbon Organik Tanah	Pengaruh struktur tanah dan kualitas serta neraca gas rumah kaca.
Kestabilan Hasil	Ketahanan hasil panen terhadap variasi cuaca dan hama.
Pemasukan Kebun	Peningkatan kualitas hidup.
Kondisi Kerja	Masalah mutu hidup, kepuasan pekerja, pergantian karyawan.
Kualitas Air dan Udara	Konsentrasi hara dan pemuatan di daerah aliran sungai atau aliran-aliran udara.
Layanan Ekosistem	Estetika pedesaan, predator alami dan penyerbuk, rekreasi luar ruang, berburu, memancing, dll.
Keanekaragaman hayati	Sulit diukur - bisa deskriptif.
Erosi Tanah	Tingkat penutupan tanah oleh pertumbuhan tanaman aktif dan sisa tanaman, dan/atau pengurangan masa tanah akibat kehilangan tanah per luas lahan satuan.
Kehilangan Hara di Luar Lahan	Total gabungan dari kehilangan hara dari zona manajemen pertanian - tepi lapangan, bawah zona akar, dan atas kanopi tanaman.
Keseimbangan Hara	Jumlah total masukan dan output hara, di permukaan tanah atau pintu/batas kebun.

* Kepentingan relatif di antara hal ini dan indikator lainnya perlu ditentukan oleh masukan pemangku kepentingan

Dukungan ekonomi untuk kinerja lingkungan dan sosial

Petani dan manajer mengenali aspek lingkungan dan sosial yang berkaitan dengan menjaga perusahaan mereka untuk generasi mendatang. Profitabilitas ekonomi, bagaimanapun, adalah penting untuk keberlanjutan perusahaan apapun, dan kadang-kadang dapat bertentangan dengan tujuan kinerja lingkungan dan sosial. Motivasi bagi manajer untuk memenuhi ketiga aspek dapat disediakan oleh program yang mencakup pengakuan (contohnya sertifikat kepatuhan lingkungan atau label) atau pembayaran langsung untuk barang ekologi dan jasa (sebagai contoh karbon terkait dengan mitigasi gas rumah kaca). Program-program tersebut dapat memastikan perbaikan lanjutan dalam produktivitas bersama dengan kemajuan pada isu-isu lingkungan dan sosial.

9.4 Efisiensi Penggunaan Hara sebagai Indikator Kinerja

Ukuran kinerja dan indikator sering meliputi hasil panen dan informasi yang cukup untuk menghitung keuntungan ekonomi. Selain itu, mereka akan perlu mencerminkan kinerja lingkungan dan sosial. Pilihan-pilihan dapat bervariasi tergantung pada prioritas pemangku kepentingan, tetapi sering akan mencakup baik keseimbangan hara atau efisiensi penggunaan hara. Banyak dampak lingkungan diminimalkan ketika surplus hara dihindari dan efisiensi penggunaan hara ditingkatkan.

Sebagai contoh, pada tanah berpasir, hilangnya nitrat oleh pencucian dapat berjumlah besar dari N yang diaplikasikan, sehingga praktek yang dipilih untuk meningkatkan efisiensi penggunaan hara secara bersamaan akan mengurangi kehilangan nitrat terhadap air tanah. Praktek-praktek tersebut dapat mencakup penggunaan aplikasi terbagi (*split*) untuk mengurangi kehilangan, atau menggunakan produk yang menjaga N dalam bentuk amonium. Banyak kehilangan unsur hara berdampak pada lingkungan sulit diukur. Keseimbangan hara dan efisiensi penggunaan hara memberikan pengukuran tidak langsung kehilangan-kehilangan tersebut dan tidak sulit untuk dihitung, diperkirakan, atau diukur.

Ada contoh masalah dimana kehilangan yang sangat kecil mengakibatkan dampak lingkungan. Pertimbangkan isu-isu limpasan P terlarut, atau emisi nitrous oxide. Dalam keduanya, kehilangan seringkali berjumlah hanya 1 sampai 3% dari hara yang diaplikasikan, dan kehilangannya sendiri tidak cukup besar untuk membuat aplikasi hara kurang efektif atau tersedia untuk hara tanaman. Meningkatkan efisiensi penggunaan hara dan mengurangi surplus hara dapat mengurangi sebagian dampak lingkungan dari kehilangan ini, tetapi sumber, waktu dan penempatan juga mungkin perlu dipertimbangkan untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan ke tingkat yang memuaskan.

Sering diasumsikan bahwa efisiensi penggunaan hara adalah indikator kinerja yang paling penting dalam penggunaan pupuk. Namun, tidak dalam kasus ini. Hara tanaman diaplikasikan untuk meningkatkan kinerja keseluruhan sistem tanam. Efisiensi penggunaan hara hanyalah salah satu aspek dari kinerja, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 9.1**. Efisiensi penggunaan hara memiliki banyak definisi, mencerminkan pengambilan (penyerapan) hara, keseimbangan hara, atau produksi lahan per unit hara yang diaplikasikan. Masing-masing memberikan indikasi unik potensi perbaikan pengelolaan pupuk, tetapi tidak memberikan representasi penuh terhadap dampak kinerja keseluruhan.

Efisiensi Produksi. Bentuk paling sederhana dari efisiensi produksi tanaman disebut faktor parsial produktivitas (*Partial Factor Productivity, PFP*). Hal ini dihitung dalam satuan **produksi** per unit hara yang diaplikasikan. Istilah lain, efisiensi agronomi (*Agronomic Efficiency, AE*), dihitung dalam satuan **peningkatan produksi** per unit hara yang diaplikasikan. Lebih dekat lagi mencerminkan dampak dari hara yang diaplikasikan. Yang pertama mudah dihitung, kebun apa saja yang menyimpan catatan input dan output. Yang terakhir ini membutuhkan plot tanpa masukan hara, sehingga hanya diketahui ketika plot penelitian telah dilaksanakan di kebun.

Pertanyaan



4. Indikator kinerja yang paling penting untuk mengelola hara tanaman adalah
 - a. produktivitas faktor parsial.
 - b. efisiensi penggunaan hara.
 - c. efisiensi agronomi.
 - d. erat kaitannya dengan tujuan keberlanjutan.
5. Proses mengembangkan dan menerapkan Penataan Hara 4T untuk kebun haruslah
 - a. konsisten dengan prinsip-prinsip manajemen adaptif.
 - b. meningkatkan tugas/beban peraturan pemerintah.
 - c. kemandirian rencana bisnis pertanian.
 - d. memungkinkan kekhawatiran pemangku kepentingan untuk diberhentikan.
6. Penataan Hara 4T harus berisi informasi untuk masing-masing bidang di
 - a. praktek yang diterapkan dan kinerja yang dibandingkan dengan tahun terakhir.
 - b. tujuan keberlanjutan dan indikator kinerja.
 - c. semua indikator kinerja yang memungkinkan.
 - d. alternatif sumber hara.

PFPP menjawab pertanyaan “Seberapa produktif sistem tanam ini dibandingkan dengan masukan haranya?” AE menjawab pertanyaan yang lebih langsung: “Berapa banyak peningkatan produktivitas diperoleh dengan menggunakan masukan hara ini?”

Efisiensi Pengambilan. Efisiensi pengambilan (penyerapan) hara juga memiliki setidaknya dua bentuk. Bentuk sederhana, keluaran hara per unit input hara, kadang-kadang disebut keseimbangan hara parsial (*partial nutrient balance, PNB*). Hal ini dihitung sebagai hara di porsi produksi tanaman per unit hara yang diaplikasikan. Dilaporkan rasio “pengambilan untuk penggunaan”, cukup mudah diukur dan berguna untuk produsen tanaman. Hal ini dapat dilaporkan untuk berapapun musim tanam.

Semakin kompleks bentuknya – lebih disukai oleh para ilmuwan yang mempelajari tanaman – disebut efisiensi pengambilan (*recovery efficiency, RE*), yang didefinisikan sebagai peningkatan serapan hara tanaman di bagian tanaman di atas tanah dalam menanggapi hara yang diaplikasikan. Seperti AE, pengukurannya memerlukan pelaksanaan plot penelitian tanpa masukan hara. PNB menjawab pertanyaan, “Berapa banyak hara yang diambil dari sistem dalam hubungannya dengan berapa banyak yang diaplikasikan?” RE di sisi lain menjawab pertanyaan, “Berapa banyak dari hara yang diaplikasikan tidak diambil oleh tanaman?”

Biasanya, AE dan RE dihitung untuk menggambarkan hasil jangka pendek: baik untuk aplikasi hara tunggal atau untuk respon selama musim tanam tunggal. Namun, bila dihitung dalam jangka panjang hasilnya bisa berbeda secara substansial, khususnya untuk P, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 9.2**.

9.5 Langkah-langkah untuk Pengembangan Rencana Penataan Hara 4T

Berikut ini adalah satu set umum langkah-langkah untuk membangun dan menerapkan rencana Penataan Hara 4T yang menyediakan akuntabilitas untuk kemajuan menuju tingkat keberlanjutan (*sustainability*) yang lebih tinggi. Langkah-langkah ini dirancang untuk konsisten dengan prinsip-prinsip manajemen adaptif seperti yang dijelaskan dalam Bab 7.

1. Tetapkan tujuan keberlanjutan - untuk seluruh kebun atau perusahaan:

- a) Pertimbangkan pemangku kepentingan. Hal ini dapat mencakup tetangga, pelanggan, kelompok-kelompok kepentingan umum setempat, pertanian atau asosiasi bisnis, atau organisasi lain yang aktif dalam promosi sukarela perbaikan keberlanjutan.
- b) Ketika lahan pertanian disewa, diskusi harus terjadi antara pemilik tanah dan operator pertanian untuk

Tabel 9.2 Empat definisi terpilih *nutrient use efficiency (NUE)*/efisiensi penggunaan hara (EPN)

Termin EPN	Kalkulasi	Contoh yang dilaporkan
PFPP - <i>Partial factor productivity</i> (Faktor Produktifitas Parsial) dari hara yang diaplikasikan	Y/F	40 hingga 80 unit biji-bijian sereal per unit N.
AE - <i>Agronomic Efficiency</i> (Efisiensi Agronomis) hara yang diaplikasikan	$(Y-Y_0)/F$	10 hingga 30 unit biji-bijian sereal per unit N.
PNB - <i>Partial Nutrient Balance</i> (Keseimbangan Hara Parsial, rasio pengambilan terhadap penggunaan)	U_H/F	0 hingga lebih dari 10 - tergantung pada kesuburan tanah asli dan objektif pemeliharaan kesuburan. <1 dalam sistem kekurangan hara (peningkatan kesuburan). >1 dalam sistem surplus hara (dalam penggantian). Sedikit di bawah 1 hingga 1 (mempertahankan kesuburan tanah).
RE - <i>Recovery Efficiency</i> (Efisiensi nyata pemulihan tanaman) dari hara yang diaplikasikan	$(U-U_0)/F$	0,1 hingga 0,3 - proporsi input P dipulihkan di tahun pertama. 0,5 hingga 0,9 - Proporsi input P dipulihkan oleh tanaman dalam sistem pertanaman jangka panjang. 0,3 hingga 0,5 - N dipulihkan pada sereal - tipikal. 0,5 hingga 0,8 - N dipulihkan pada sereal - manajemen terbaik.

F - jumlah hara pupuk yang diaplikasikan

Y - hasil panen dengan hara yang diaplikasikan

Y_0 - hasil panen dalam kontrol tanpa aplikasi hara

U_H - kandungan hara dari bagian tanaman yang dipanen

U - total serapan hara dalam biomassa tanaman di atas tanah dengan pupuk yang diaplikasikan

U_0 - total serapan hara dalam biomassa tanaman di atas tanah tanpa aplikasi pupuk

menentukan siapa yang bertanggung jawab untuk melaksanakan praktek keberlanjutan dan memantau efektivitas mereka.

- c) Tetapkan tujuan ekonomi, lingkungan dan sosial untuk perusahaan, dengan indikator kinerja dipilih dengan pertimbangan perhatian orang-orang yang tercantum di atas.

Pilih strategi manajemen hara yang tepat yang akan mendukung tujuan keberlanjutan kebun. Contoh dari sebuah daftar tujuan kebun untuk kelestarian lingkungan diberikan dalam sebuah artikel dari seri evaluasi perkebunan (*Whole Farm Evaluation*) Universitas Cornell (lihat # 1 oleh Karl Czymmek).

2. Kumpulkan informasi produksi yang diperlukan - untuk masing-masing bidang:

- a) Tanaman yang akan ditanam.
- b) Target hasil dan kualitas (misalnya protein, kandungan unsur jejak, warna, atau karakteristik lain yang dipengaruhi oleh pengelolaan hara).
- c) Karakteristik tanah termasuk tekstur, bahan organik, pH, kadar hara yang tersedia.
- d) Sejarah pertanaman, dan praktek pengelolaan hara sebelumnya.
- e) Jumlah hari yang diharapkan dari kondisi tanah yang cocok untuk operasi lapangan (aplikasi hara, persiapan lahan, penanaman, perlindungan tanaman dan panen) berdasarkan tanah dan cuaca tertentu.
- f) Drainase air, laju infiltrasi, kerentanan terhadap pencucian, kedekatan dengan permukaan air.
- g) Lokasi, dimensi dan luas permukaan (keterangan hukum, koordinat GPS, peta).
- h) Peluang dan potensi untuk menerapkan tingkat hara bervariasi pada skala sub-bidang.
- i) Peralatan yang tersedia untuk aplikasi hara.
- j) Rekomendasi terpercaya dan alat pendukung keputusan untuk kombinasi optimal dari sumber, dosis, waktu, dan tempat untuk aplikasi hara, mengingat kondisi-kondisi di atas.

3. Merumuskan rencana - untuk setiap bidang:

- a) Tentukan kebutuhan hara untuk mencapai target keuntungan dan kualitas.
- b) Perkirakan kapasitas penyediaan hara oleh tanah.
- c) Pertimbangkan pasokan semua hara yang tersedia dan memilih sumber hara yang paling layak dan dosis, waktu dan tempat yang tepat untuk aplikasi.

4. Melaksanakan praktek yang dipilih,

mengaplikasikan sumber hara yang tepat pada dosis, waktu dan tempat yang tepat untuk mencapai performa maksimal. Hal ini dapat dilakukan oleh manajer pertanian atau dengan kombinasi dengan penasihat, pedagang pupuk atau aplikator khusus, pembeli, dan staf pengawas. Merekam dan melacak apa yang telah dilakukan merupakan bagian penting dari siklus manajemen adaptif, dan juga harus mencakup pelacakan kondisi tanaman.

5. Memantau efektivitas praktek yang digunakan.

Langkah terakhir dalam siklus manajemen adaptif adalah menilai kinerja melalui indikator yang dipilih untuk menentukan apakah praktek yang dipilih mencapai hasil yang diinginkan. Penilaian ini kemudian akan mempengaruhi siklus perencanaan keputusan berikutnya (yaitu langkah 2). Dampak dari banyak praktek-praktek tidak dapat dengan mudah diukur dalam satu musim tanam dan akan perlu dinilai selama beberapa tahun untuk perbaikan dokumen.

Pemantauan bisa dilakukan sesederhana seperti menentukan hasil panen dan menilai apakah sudah dekat dengan hasil yang ditargetkan berdasarkan rencana. Namun seringkali, hal ini bergantung pada prioritas tujuan keberlanjutan, pemantauan dapat juga mencakup latihan perhitungan melacak penggunaan hara sebagai berikut:

- a) di musim tanam dan di masa panen memantau konsentrasi hara tanaman;
- b) menentukan hara residual dalam tanah setelah panen, dan dalam beberapa kasus konsentrasi hara di tangkai tanaman (terutama N);
- c) menilai apakah target produksi sudah tercapai, dengan mempertimbangkan potensi produksi berdasarkan pada cuaca yang dialami (contoh: Apakah curah hujan dan irigasi memadai dan tepat waktu? Apakah ada unit panas yang cukup untuk perkembangan tanaman? Apakah ada faktor lain yang mengganggu perkembangan tanaman yang normal?);
- d) perhitungan keseimbangan hara dan efisiensi penggunaan hara;
- e) pemantauan kuantitas dan kualitas air yang keluar dari kebun pada parit drainase;
- f) mengukur atau menilai kualitas tanah menggunakan indikator yang tepat.

9.6 Contoh Lembar Kerja Rencana 4T

Terlampir di bawah ini adalah contoh lembar kerja yang dapat digunakan oleh konsultan tanaman atau penasihat pertanian untuk membantu petani mengembangkan rencana pengelolaan hara untuk kebun.

1) Informasi Pertanian

Nama perusahaan: (nama kebun atau bisnis)		
Informasi kontak - petani: (nama, alamat, nomor telepon, email)		
Informasi kontak - penasehat: (nama, alamat, nomor telepon, email Penasehat Tanaman Bersertifikat atau konsultan pertanian)		
Deskripsi perusahaan: (Jumlah kebun, jenis tanaman yang ditanam, ternak atau unggas, sumber hara yang tersedia)		
Tujuan keberlanjutan dan indikator yang berhubungan dengan hara:		
	Tujuan	Indikator kinerja yang berhubungan dengan manajemen hara untuk setiap tujuan
Ekonomi		
Lingkungan		
Sosial		

2) Informasi kebun (untuk masing-masing lahan):

Lahan atau nama zona manajemen atau nomor					
Lokasi legal atau koordinat GPS					
Peta dan deskripsi					
Ukuran area					
Tanaman sebelumnya					
Tanaman spesifik untuk rencana tanam					
Target hasil realistis					
Topography lansekap dan karakteristik drainase tanah					
Karakteristik Tanah		Tingkat Uji Tanah			
Bahan Organik		N		Ca	
Tekstur		P		Mg	
pH		K		Zn	
KTK		S		Mn	
Aplikasi Hara Terencana (direkomendasikan)					
Aplikasi	SUMBER yang tepat (analisis)	DOSIS yang tepat	WAKTU yang tepat (tanggal, tingkat tumbuh tanaman)	TEMPAT yang tepat (kedalaman, metode)	
1					
2					
Hara yang diaplikasikan					
Aplikasi	SUMBER	DOSIS	WAKTU	TEMPAT	
1					
2					
Ringkasan Keseimbangan Hara					
	N	P₂O₅	K₂O	S	
Diaplikasi					
Diserap					
Terangkut					
Indikator kinerja (bisa memasukan tingkat kesuburan tanah, efisiensi penggunaan unsur hara, keseimbangan, hasil tanaman, dan lain-lain. Konsisten dengan target keberlanjutan. Bagan dari waktu ke waktu untuk menunjukan trend):					
Indikator	Tahun lalu	Tahun lalu	Tahun lalu	Tahun ini	
<i>Hasil</i>					
<i>Pengembalian Bersih</i>					
<i>Parsial keseimbangan hara – N</i>					
<i>Parsial keseimbangan hara – P</i>					
<i>Parsial keseimbangan hara – K</i>					

9.7 Membandingkan Standar Peraturan dan Sukarela untuk Rencana Manajemen Hara

Peran yang tepat dari regulasi diperdebatkan di setiap negara dan masyarakat. Setiap sistem budaya dan politik memiliki pandangan yang berbeda mengenai peran yang tepat dari pemerintah dalam mengendalikan kegiatan individu dan kelompok. Untuk peraturan lingkungan, diakui bahwa kualitas kolektif hidup dipengaruhi oleh berbagai aktivitas manusia yang berdampak kepada sumber daya alam seperti udara, tanah, dan air. Dampak tersebut kadang-kadang diatasi dengan kontrol pemerintah atas dasar lokal, regional, maupun nasional. Beberapa dampak lingkungan sebaiknya diatasi pada tingkat lokal, sementara isu-isu lingkungan lainnya dilihat dari lingkup global dan memerlukan perjanjian multi-nasional.

Jelas bahwa ketika hara tanaman tidak dikelola dengan baik dan secara tidak sengaja meninggalkan lahan, hal tersebut dapat berkontribusi merugikan untuk dampak lingkungan. Namun hal ini tidak selalu jelas apakah tanggapan sukarela atau wajib yang terbaik untuk mengatasi isu-isu lingkungan tersebut. Beberapa argumen mendukung dan menentang terhadap pendekatan wajib dan sukarela tercantum di bawah ini.

Standar Wajib:

- a) Wajib melaporkan hasil pendekatan standar yang memberikan informasi yang kredibel untuk mengatasi/melingkupi perhatian dan pertanyaan pemangku kepentingan.
- b) Satu set standar persyaratan mengamanatkan tingkat transparansi operasional yang membahas isu-isu lingkungan tertentu.
- c) Saat ini belum ada pendekatan standar untuk pencatatan atau akuntabilitas untuk pengambil keputusan hara sehingga sulit untuk mendokumentasikan kemajuan menuju tujuan lingkungan tanpa standar seragam.
- d) Ada perdebatan bahwa peraturan wajib mungkin akhirnya menyebabkan petani melakukan efisiensi yang lebih besar, keuntungan yang lebih tinggi, dan kesejahteraan sosial yang lebih dalam jangka panjang. Pendapat tentang pernyataan ini berbeda-beda.
- e) Di daerah dimana berbagai tanaman komersial ditanam, kemampuan regulator untuk membuat aturan wajib untuk mengakomodasi kebutuhan spesifik dari masing-masing tanaman akan sangat menantang.
- f) Pendekatan peraturan wajib sering kekurangan fleksibilitas untuk menyesuaikan diri dengan keadaan baru, kondisi lingkungan, perubahan pasar dan teknologi baru. Hal ini dapat menempatkan beban di perkebunan yang beroperasi di lingkungan bisnis global.
- g) Peraturan ketat melemahkan inovasi dan mengurangi insentif untuk melampaui persyaratan minimum dan pencatatan.
- h) Banyak peraturan memiliki “pemenang dan pecundang”,

membuat pembuatan peraturan menjadi isu politik daripada hasil berbasis ilmu pengetahuan.

- i) Sulit bagi regulator untuk memantau kepatuhan peraturan dalam kebun, yang dapat merusak kepercayaan dalam aturan dan membuat penegakan muncul tak terduga.

Standar Sukarela:

- a) Standar lingkungan masih berkembang dan langkah-langkah sukarela mendorong petani ke arah yang benar seiring berkembangnya ilmu.
- b) Pendekatan sukarela memungkinkan informasi industri saat ini harus cepat dikerahkan dalam praktek. Pemerintah sering bermain “mengejar” untuk mengubah kebijakan untuk mencerminkan perubahan kondisi.
- c) Regulasi mandiri memberikan fleksibilitas lebih daripada regulasi yang ketat, yang memungkinkan praktek manajemen harus dipilih yang terbaik memenuhi tantangan lokal. Hal ini untuk menghindari kesulitan dalam menghadapi situasi politik yang menantang, yang pemerintah harus berurusan setiap kali aturan berubah.
- d) Jika peserta yang terlibat dalam memilih praktek manajemen yang tepat untuk bidang tertentu, keluaran akan lebih tepat daripada pendekatan satu-ukuran-cocok-untuk-semua.
- e) Regulasi mandiri dapat mengakibatkan tingkat kepatuhan yang lebih tinggi. Ketika individu terlibat dalam menetapkan aturan tersebut, aturan yang lebih wajar tampaknya akan muncul bagi mereka.
- f) Standar sukarela memungkinkan setiap orang untuk mencapai kepatuhan karena kelompok memberi kebijakan kepada masing-masing anggota untuk mencapai tujuan bersama untuk kepentingan seluruh industri.
- g) Pendekatan sukarela tidak dapat memberikan motivasi yang cukup untuk partisipasi individu atau kelompok untuk mencapai hasil yang diinginkan.
- h) Mematuhi standar sukarela mungkin melibatkan pengungkapan yang tidak diinginkan dari informasi negatif yang belum tentu benar.
- i) Mengatur sendiri didasarkan pada informasi bersama, yang dapat menimbulkan konflik kepentingan.
- j) Organisasi mengatur sendiri mungkin enggan untuk mengelola hukuman yang sesuai untuk pelanggar serius di antara kelompok sebaya mereka.
- k) Ketika kepentingan individu tertentu tampaknya menyimpang dari tujuan sosial secara keseluruhan, konflik kepentingan membuat pemantauan diri dan penegakan hukum yang lebih sulit.
- l) Banyak petani beroperasi di pasar dikendalikan oleh kondisi global. Ketika pasar luar negeri tidak dibatasi dengan peraturan, regulasi diri bisa menjadi kerugian kompetitif (meskipun ini berlaku untuk regulasi wajib juga).
- m) Pendekatan sukarela mungkin tidak membahas beberapa

dampak lingkungan dan sosial yang lebih luas dari keputusan manajemen tertentu.

- n) Pendekatan sukarela tidak dapat memberikan verifikasi kinerja yang cukup untuk memenuhi keinginan semua pihak.

9.8 Mengatur Dampak Lingkungan

Tujuan inti dari Hara Tanaman 4T adalah untuk mengelola dan mengurangi kehilangan hara yang berdampak terhadap lingkungan. Masa depan keluarga manusia global tergantung pada cara kita menggunakan pupuk N dan P dan sumberdaya hara lain yang tersedia untuk menghasilkan pasokan makanan yang berlimpah, aman, dan bergizi dan cara kita mencapai perlindungan yang lebih besar dan pemulihan kualitas dari udara dan air. Siklus N dan P terkait erat dengan siklus hara penting lainnya, yang menyokong semua kehidupan di Bumi. Pengelolaan hara kita saat ini, berdasarkan 4T, akan menentukan hasil ekonomi, sosial, dan lingkungan saat ini dan di masa depan. Setiap konsumen pupuk harus membuat pilihan manajemen sambil bertanya: apakah keputusan manajemen dan tindakan menghasilkan keluaran yang menguntungkan, lingkungan yang lebih baik, dan manfaat sosial netto/bersih?

Pertanyaan-pertanyaan ini sulit dijawab, terutama karena dampak lingkungan yang sulit diukur di tingkat petani. Sebagai contoh, tidak realistis untuk mengharapkan setiap produsen pertanian untuk mengukur emisi nitrous oksida mereka ke atmosfer, atau kehilangan P mereka hingga drainase air. Kedua contoh ini melibatkan kehilangan sporadis pada kondisi tanah dan cuaca yang sangat spesifik. Selain itu, tidak ada praktek tunggal dapat digunakan di semua kondisi pertanian untuk mengurangi kerugian – tidak ada solusi “satu-ukuran-cocok-untuk-semua”. Ilmu telah mengidentifikasi kondisi dimana kombinasi spesifik sumber pupuk, dosis, waktu, dan tempat akan mencapai kehilangan yang lebih rendah tanpa membatasi produktivitas. Kondisi ini dijelaskan dalam indeks, protokol dan instrumen lainnya, terkait dengan informasi yang terdapat dalam rencana pengelolaan hara, dan dijelaskan dalam beberapa studi kasus yang menyertai bab ini.

Dua bagian berikut akan lebih fokus khusus pada dua hara yang paling sering dikaitkan dengan dampak lingkungan, N dan P.

9.8.1 Mengatur Dampak Lingkungan N

Pelaksanaan Penataan Hara 4T secara komprehensif spesifik-lokasi dapat meningkatkan pengambilan (penyerapan) N oleh tanaman dari tanah. Perbaikan dalam pengambilan N tanaman memperkecil potensi kehilangan yang mengurangi profitabilitas dan meningkatkan risiko kerusakan lingkungan. Peningkatan pengambilan N yang diaplikasikan mengurangi kehilangan N yang dapat membahayakan kualitas air dan udara. Hal ini juga mengurangi potensi transfer N ke daerah non-pertanian murni yang dapat membahayakan keanekaragaman hayati.

Banyak jalan kehilangan N

Sayangnya, pengambilan oleh tanaman dari N yang diaplikasikan selama musim tanam untuk sebagian besar tanaman sereal seringkali jauh dari selesai. Hal ini dapat berkisar 30 sampai 70% atau bahkan lebih luas. Bagian yang tersisa dari N yang diaplikasikan:

- yang tersimpan di kompleks pertukaran tanah sebagai amonium;
- disimpan dalam bahan organik tanah;
- kehilangan melalui pencucian bawah zona akar aktif berisiko kontaminasi air tanah;
- hilang ke air permukaan melalui limpasan, pencucian dan/atau buangan drainase;
- hilang ke atmosfer sebagai penguapan amonia, atau;
- hilang ke atmosfer baik sebagai nitrous oksida (N_2O , gas rumah kaca yang berpotensi berkontribusi terhadap pemanasan dan perubahan iklim global) atau sebagai gas N_2 yang ramah, sumber semua pupuk N.

Tanah tertentu cenderung kehilangan N lebih besar melalui beberapa jalur kehilangan prinsip N yang disebutkan di atas. Contohnya, tanah berpasir dapat rentan terhadap kehilangan N yang lebih tinggi dalam bentuk nitrat; tekstur halus lempung berdebu sampai tanah berliat di daerah lanskap dataran rendah bisa mengalami kehilangan yang lebih tinggi melalui denitrifikasi dan emisi ke atmosfer sebagai N_2O dan/atau N_2 .

Mengelola hilangnya N membutuhkan pengetahuan

Penggunaan sumber N yang tepat, penggunaan urea dan/atau inhibitor nitrifikasi, sinkronisasi aplikasi N untuk lebih bertepatan dengan pola serapan tanaman N dan dosis serapan, dan aplikasi N pada tempat yang tepat dengan menggunakan metode penempatan yang sesuai membutuhkan pengetahuan yang lebih besar dari:

- sumber pupuk N;
- karakteristik dan sifat tanah;
- kondisi cuaca (kelembaban, suhu);
- kebutuhan dan keseimbangan sistem tanam hara;
- kompleksitas dari siklus N, dan;
- pengelolaan air dan efisiensi irigasi.

Sebagai contoh, kehilangan penguapan N sebagai amonia dapat besar ketika urea atau pupuk urea yang mengandung sumber N diaplikasikan di permukaan dan curah hujan atau irigasi tidak memadai terjadi dalam waktu sekitar 48 jam setelah aplikasi. Hal ini juga dapat terjadi ketika amonium sulfat diaplikasikan di permukaan tanah berkapur.

Bagi banyak petani dan penanam yang menghabiskan sebagian besar waktu mereka membuat keputusan pembelian

dan pemasaran, keterampilan disiplin konsultan pertanian, (contohnya penasihat tanaman bersertifikat) atau penyuluh berpengalaman dapat menjadi penting. Para profesional ini dapat membantu petani dan penanam merencanakan dan melaksanakan praktek manajemen N yang berkualitas secara agronomis, sehingga menghasilkan manfaat ekonomi, lingkungan, dan sosial.

Banyak jalan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan N

Jalur untuk perbaikan pemulihan tanaman dan ketahanan tanah terhadap N yang diaplikasikan meliputi:

- meningkatkan genetis tanaman;
- teknologi pupuk yang lebih baru;
- waktu yang lebih baik dan pengaplikasian yang dibagi (*split*);
- kemajuan dalam teknologi pemupukan;
- akses dan pelaksanaan GPS dan GIS yang lebih baik;
- Adopsi praktek konservasi yang meningkatkan efisiensi penggunaan air.

Manajemen adaptif, seperti yang dijelaskan dalam Bab 7, dapat membantu petani membuat pilihan di antara jalur yang tercantum di atas.

9.8.2 Mengatur Dampak Lingkungan P

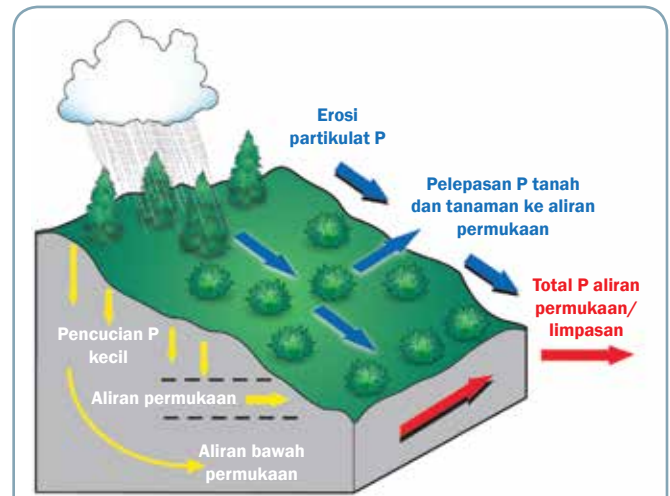
Fosfor perlu secara berkala ditambahkan ke sebagian besar tanah untuk menjaga pasokan hara yang memadai untuk mendukung pertumbuhan tanaman dan mengganti hara terangkut saat panen. Sementara P merupakan hara penting bagi tanaman dan hewan, peningkatan konsentrasi di sungai air tawar dan danau dapat merangsang produktivitas biologis secara berlebihan. Pertumbuhan tanaman yang berlebihan dalam air dari pengayaan hara disebut eutrofikasi. Eutrofikasi paling sering disebabkan oleh aktivitas manusia, tetapi juga merupakan proses alami, terutama di danau. Beberapa lembaga pemerintah menganggap eutrofikasi sebagai penyebab utama degradasi air permukaan.

Jumlah total P yang hilang dari lahan pertanian mungkin cukup kecil, tetapi bahkan pengayaan kecil P terlarut di sungai, sungai dan danau dapat mempercepat eutrofikasi yang tidak diinginkan (misalnya di beberapa danau dapat mengakibatkan ganggang berkembang pada konsentrasi serendah 0,02 mg P/L). Eutrofikasi dapat menyebabkan dampak ekonomi, kesehatan, dan estetika serius.

Jalur kehilangan P mulai di permukaan

P tanah ditemukan dalam bahan organik dan juga dalam kaitannya dengan banyak komponen anorganik dalam tanah – termasuk retensi permukaan liat, dan mineral oksida, dan juga diendapkan bersama kation seperti Al, Fe, atau Ca. Fosfat tidak sangat mobil di sebagian besar tanah dan

terutama melekat pada partikel padat daripada terlarut dalam air. Oleh karena itu kehilangan P paling sering berkaitan dengan erosi tanah permukaan yang membawa partikel dari lahan. (**Gambar 9.1**).



Gambar 9.1 Jalur primer hilangnya P adalah aliran permukaan, tetapi di beberapa tanah pencucian dapat membawa P ke saluran air (*tile drains*).
Diadaptasi dari: Sharpley et al. (2003)

Ketika pupuk kandang atau pupuk P yang diaplikasikan tertinggal di permukaan tanah atau dimasukkan hanya dangkal ke dalam lapisan permukaan, tanah paling atas menjadi diperkaya dengan P – dan zona paling rentan terhadap kehilangan bersama air yang mengalir. Di area ini, kehilangan P terjadi terutama di aliran permukaan. Hal ini dapat terjadi saat hujan, pencairan salju, atau selama irigasi. Pencucian juga dapat mengangkut P melalui tanah ke parit drainase dan bawah permukaan *tile lines* yang dibuang ke air permukaan. Gerakan melalui tanah tersebut dapat terjadi dengan kombinasi kapasitas pengikatan-P (*P-fixing*) tanah rendah, meningkatkan kadar P uji tanah, dan aliran preferensial melalui pori makro tanah. Aliran preferensial tersebut sering berasal dari permukaan tanah. Dengan demikian, sebagian besar bentuk kehilangan P dapat dikelola dan diminimalkan dengan penempatan pupuk lajur bawah permukaan. Pengelolaan air juga dapat menjadi komponen dalam meminimalkan kehilangan P.

Mengelola dosis P untuk mengendalikan akumulasi di dalam tanah

Ada beberapa potensi sumber P yang dapat memperkaya air permukaan. Ketika petani menggunakan pupuk komersial sebagai sumber P utama mereka, umumnya ada sedikit lebih aplikasi P terjadi karena menambahkan pupuk melebihi konsentrasi ekonomi yang bijaksana merupakan pemborosan uang. Pemantauan berkala dengan pengujian tanah diperlukan untuk menjaga konsentrasi P melebihi kisaran diperlukan untuk produksi tanaman. Aplikasi jangka panjang pupuk P pada dosis yang jauh melampaui pengambilan

tanaman dapat meningkatkan konsentrasi P tanah ke tingkat yang tidak diinginkan.

Produksi hewan intensif dapat menyebabkan surplus kotoran hewan dan hara dalam wilayah tertentu. Pengulangan aplikasi pupuk kandang pada lahan pertanian sering menyebabkan akumulasi P berlebih dari pengambilan tanaman dan pada akhirnya meningkatkan risiko hilangnya hara di air yang mengalir dari lahan. Dosis aplikasi tahunan dapat melebihi pengambilan tanaman beberapa kali di beberapa daerah. Metode peningkatan distribusi pupuk ke daerah diperlukan untuk memindahkan hara surplus ke daerah dimana ada kebutuhan pertanian. Aplikasi secara berkelanjutan hara melebihi kebutuhan tanaman dapat menyebabkan akumulasi yang tidak diinginkan dan potensial keprihatinan lingkungan. Prinsip menyeimbangkan masukan dan keluaran hara adalah penting dalam semua jenis bentuk.

Mengelola P dan air untuk meminimalkan kehilangan

Adopsi kedua praktek dalam kebun akan membantu melindungi air tawar dari eutrofikasi:

- Fosfor di tanah harus dikelola untuk menyeimbangkan masukan dari pupuk kandang dan pupuk dengan hasil panen. Hal ini dapat dilakukan dengan menghitung hara yang ditambahkan ke masing-masing lahan dan hara terangkut saat panen atau pada hewan merumput. Pengujian tanah berkala akan memberikan umpan balik, apakah konsentrasi P tanah meningkat atau menurun dari waktu ke waktu. Penyesuaian dosis aplikasi hara dapat dibuat berdasarkan kecenderungan jangka panjang.
- Kebanyakan kehilangan P terjadi ketika sedimen meninggalkan permukaan lahan dalam air limpasan. Praktek konservasi yang meminimalkan erosi dan mengurangi limpasan juga akan mengurangi kehilangan P. Beberapa praktek konservasi dalam kebun yang dapat dipertimbangkan untuk mengurangi kehilangan P termasuk:

Pengurangan pengolahan Lahan basah	Praktek irigasi Pengelolaan daerah aliran sungai
Tanaman penutup Manajemen parit	Manajemen aliran Pertanaman jalur
Pengendalian erosi Saluran air rumput	Pemulihan jalur irigasi Penempatan hara
Kalibrasi penyebar	Waktu pengaplikasian hara

Indeks risiko membantu meminimalkan kehilangan P

Sumber pencemaran non-point dari limpasan sulit untuk diidentifikasi dan sulit untuk diatur. Sebagian besar P hilang dalam limpasan permukaan biasanya berasal dari area kecil di lahan. Perhatian khusus harus diberikan pada zona berisiko tinggi ini. Konservasi tanah yang tepat harus dilaksanakan pada area tersebut untuk menghentikan pemindahan partikel tanah ke air permukaan.

Berbagai pendekatan telah digunakan untuk mengidentifikasi lahan individu dengan risiko tinggi kehilangan P. Teknik untuk membuat perkiraan mulai dari penilaian kehilangan P sederhana hingga model komputer yang canggih. Semua perkiraan ini harus dikalibrasi terhadap kondisi tanah, cuaca, dan kondisi pertanian setempat. Secara umum, pendekatan ini melihat kontribusi sumber P dan potensi transportasi P ke air. Faktor-faktor ini tercantum dalam **Tabel 9.3**.

Uji tanah mengarahkan manajemen untuk kedua tujuan ekonomi dan lingkungan

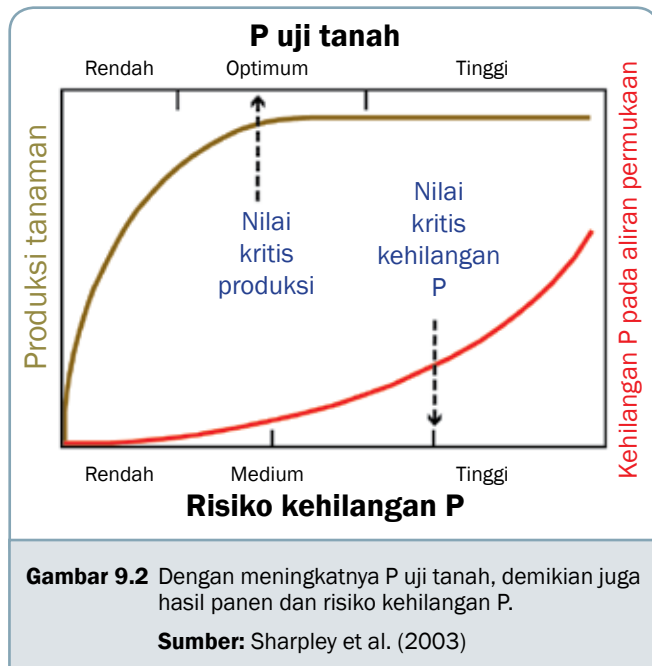
Pengujian tanah sangat berguna untuk memprediksi kebutuhan aplikasi P dan kemungkinan menghasilkan tanggap tanaman secara ekonomis. Tujuan tersebut berbeda dengan memprediksi risiko kehilangan air drainase, namun bentuk P yang sama – fosfat terlarut – yang dibutuhkan oleh tanaman budidaya juga mendukung eutrofikasi dan menyuburkan perkembangan ganggang. Perbedaan utama adalah limpasan P dipengaruhi oleh kedalaman tanah lebih dangkal dari lapisan atas tanah yang memberikan kontribusi sebagian besar hara bagi tanaman. Perbedaan ini berdampak kecil pada tanah dengan pengolahan pembalikan (dengan membajak) digunakan, namun pengolahan konservasi (seperti, tanpa pengolahan atau sistem yang meninggalkan sebagian besar sisa tanaman di permukaan) pencampuran tanah vertikal berkurang.

Uji tanah baru yang sedang dikembangkan dapat meningkatkan prediksi dari respon tanaman dan risiko potensi kehilangan P. Sebuah contoh uji tersebut adalah rasio P/AI pada uji Mehlich 3, digunakan sebagai perkiraan kejenuhan P tanah. Uji tanah baru ini perlu memperhitungkan faktor-faktor seperti kapan dilakukan sampel tanah, kedalaman pengambilan sampel tanah, metode penanganan tanah yang tepat, dan teknik ekstraksi laboratorium.

Tabel 9.3 Faktor yang mengendalikan kehilangan P dari lahan pertanian

Faktor Sumber Fosfor
Konsentrasi P tanah
Dosis aplikasi, waktu dan penempatan pupuk P
Dosis aplikasi, waktu dan penempatan pupuk kandang
Konsentrasi P pupuk kandang
Sifat fisik pupuk kandang
Kelarutan sumber P
FaktorTransportasi Fosfor
Potensi limpasan air permukaan
Potensi erosi tanah
Drainase bawah permukaan
Buffer vegetative tepi lahan
Kedekatan dan konektivitas ke air
Tekstur tanah dan kelas drainase

Langkah-langkah praktis dapat segera dilaksanakan untuk mengurangi risiko kehilangan P dan eutrofikasi. Pengujian tanah untuk meminimalkan akumulasi P yang berlebihan dapat dengan mudah dimulai. Aplikasi pupuk dan pupuk kandang harus dijadwalkan setahun jika risiko kehilangan diminimalkan. Keputusan tentang penempatan pupuk kandang dan pupuk P perlu mempertimbangkan bagaimana meminimalkan kehilangan karena limpasan. Praktek konservasi lapangan untuk mengurangi erosi tanah harus menjadi bagian penting dari semua operasi pertanian, terlepas dari ukuran lapangan, status hara, atau kapasitas manajemen.



9.9 Sinergisme Penataan

Proses yang berkaitan dengan sumber, dosis, waktu dan tempat aplikasi hara pada hasil keberlanjutan dapat menakutkan. Dampak keberlanjutan (sustainability) sangat kompleks, spesifik-lokasi dan bervariasi dari waktu ke waktu. Hal tersebut melibatkan ketidakpastian dan memerlukan penelitian lebih lanjut dalam mendukung peningkatan berbasis sains secara terus-menerus. Namun demikian, pemikiran praktis yang masuk akal – dipandu oleh kerangka global yang tepat dapat mengubah praktek dan meningkatkan hasil dalam kerangka waktu jangka pendek dan jangka panjang.

Dalam jangka pendek, hal itu mendorong praktek tingkat-dasar praktis menuju solusi sinergis. Misalnya, setelah seorang petani memahami bahwa penempatan pupuk lajur sebagai awalan (*starter*) dapat meningkatkan produksi dan mengurangi P limpasan, maka perubahan praktek dapat diberlakukan segera.

Pertanyaan ?

7. Kelebihan dari standar sukarela dibandingkan dengan standar wajib adalah bahwa mereka
 - a. memungkinkan solusi yang lebih sensitif terhadap kendala spesifik-lokasi.
 - b. membatasi fleksibilitas pengambilan keputusan untuk merespon perubahan kondisi.
 - c. melemahkan inovasi.
 - d. mengelola hukuman yang sesuai untuk pelanggaran serius.
8. Kedua hara paling penting untuk masa depan keluarga manusia global
 - a. N dan P.
 - b. cobalt (Co) dan selenium (Se).
 - c. selulosa dan lignin.
 - d. kadmium (Cd) dan fluoride (F).
9. Pengambilan/penyerapan tanaman bagian atas tanah (serapan) dari aplikasi N oleh sebagian besar tanaman sereal selama musim tanamnya biasanya:
 - a. di atas 70 hingga 90%.
 - b. kurang dari 30%.
 - c. 50 sampai 60%.
 - d. 30 sampai 70%.

Dalam jangka panjang, hal tersebut memandu penelitian dan penyuluhan berupaya menuju ilmiah praktek yang paling berkhasiat dalam mengatasi prioritas isu-isu keberlanjutan. Seringkali ini adalah masalah yang sulit untuk dipecahkan dalam kebun, misalnya, peningkatan efisiensi N pada tanaman sereal.

Membimbing praktek menuju hara tanaman untuk produktivitas optimal dapat membantu untuk menyelesaikan banyak masalah saat ini terkait dengan penggunaan hara tanaman. 📌

PUSTAKA

Sharpley, A.N. et al. 2003. Agricultural Phosphorus and Eutrophication. 2nd Ed. [On-line].

Studi Kasus 9.1-1 Rencana manajemen hara untuk tebu di daerah tropika basah Australia. Industri gula Australia memproduksi sekitar 5 juta (M) t gula mentah dari 35 M t tebu dan 4.000 perkebunan. Tebu ditanam di daerah dengan curah hujan tinggi dan irigasi wilayah di sepanjang dataran pantai dan sungai di pantai utara-timur Australia dari Queensland ke New South Wales (lihat peta). Pertumbuhan tebu dan produksi gula mendasari perekonomian banyak masyarakat pesisir dan hanya nomor kedua setelah industri pariwisata dalam pengaruhnya terhadap ekonomi regional.

Daerah tebu utara berada di daerah tropis basah dengan curah hujan tahunan 2.000 sampai 4.000 mm dan berdekatan dengan bagian dari area warisan dunia *Great Barrier Reef*. *Great Barrier Reef* adalah ekosistem yang unik dan berharga.

Great Barrier Reef sudah berada dalam tekanan terhadap penangkapan ikan, pertumbuhan kawasan kota, limbah dan pertambangan, serta dampak perubahan iklim seperti pengasaman laut dan pemanasan. Karang dan organisme terumbu lain yang membentuk *Great Barrier Reef* dipengaruhi oleh variabel kualitas air seperti suhu, beberapa pestisida, salinitas, hara dan sedimen tersuspensi.

Produksi tebu di Australia adalah industri yang sangat khusus yang tanggap terhadap perubahan isu-isu ekonomi dan sosial dengan teknik agronomi baru dan yang lebih baik. Semua tebu ditanam dan dipanen secara mekanis; kebanyakan ditanam di bawah selimut sampah hijau sebagai pengganti pembakaran sampah sebelum panen. Pengelolaan tanah minimum secara luas dipraktekkan dan banyak petani telah mengadopsi pengelolaan hara spesifik-lokasi pada lahan mereka. Petani juga mengembangkan daerah aliran sungai dalam pertanian mereka sebagai perangkap hara dan sedimen.

Target telah ditetapkan untuk melindungi kualitas air daerah karang dengan mengurangi input hara dan pestisida dari daerah produksi tebu yang dekat. Setiap orang yang menanam tebu komersial lebih dari 70 ha di DAS tropis basah diharuskan untuk mempersiapkan Rencana Manajemen Risiko Lingkungan (*Environmental Risk Management Plan, ERMP*), yang persyaratannya meliputi:

- Identifikasi terhadap bahaya di kebun yang dapat menyebabkan pelepasan kontaminan ke dalam air dan memasuki karang.
- Target dan indikator kinerja terukur untuk meningkatkan kualitas air buangan dari peternakan.
- Menyertakan rencana manajemen yang menyediakan pengelolaan hara yang diaplikasikan pada tanah, bahan kimia pertanian, dan hilangnya sedimen dari kebun.
- Aplikasi tidak lebih dari jumlah optimum pupuk N dan P ke tanah, berdasarkan sifat-sifat tanah, sumber lain (contohnya produk sampingan pabrik) dan potensi produksi tebu.
- Merekam hasil uji tanah dan aplikasi pupuk. Di beberapa daerah, uji tanah harus diambil sebelum hara diaplikasikan pada tanaman. Pengujian tanah harus mencakup taraf N termineralisasi dan P tersedia dalam tanaman.
- Varian dari rekomendasi ini dapat dilakukan hanya melalui persetujuan dari penasihat terakreditasi.



Pemerintah dan Industri berpartner untuk mengembangkan program “Enam Langkah Mudah” untuk melindungi Great Barrier Reef

ERMP untuk setiap perkebunan kemudian dinilai oleh Departemen Lingkungan dan Pengelolaan Sumber Daya Queensland (*Department of Environment and Resource Management, DERM*). Selesai dinilai dan disetujui, rencana tersebut memiliki jangka akreditasi satu sampai lima tahun. Rencana akan mencakup peta pertanian, rencana pengelolaan hara dan hama terpadu dan rencana pengelolaan gulma. Rencana ini terdaftar dan diaudit oleh DERM, sehingga rencana pengelolaan hara - biasanya terbentuk berkisar pendekatan ENAM LANGKAH MUDAH (*SIX EASY STEPS*) dari BSES Limited (sebuah organisasi produsen tebu) menjadi pernyataan hukum dari cara petani tebu akan menggunakan pupuk di ladang mereka.

Program ENAM LANGKAH MUDAH adalah alat manajemen hara terpadu yang memungkinkan adopsi praktek pengelolaan hara terbaik bagi petani tebu, alat ini dapat digunakan untuk mengembangkan rencana pengelolaan hara yang diperlukan dalam ERMP. Keenam langkah tersebut adalah:

- Mengetahui dan memahami berbagai jenis tanah
- Memahami dan mengelola proses dan kehilangan hara
- Uji tanah berkala
- Mengadopsi pedoman pengelolaan hara spesifik-tanah
- Memeriksa kecukupan pemasukan hara (contohnya menggunakan analisa daun)
- Mencatat semua perkembangan dengan baik untuk dapat mengubah pemasukan hara dimana dan kapan dibutuhkan

Program diberikan melalui kursus singkat yang dikembangkan bersama peternak. Tujuan program adalah untuk menyediakan sebuah panduan untuk mengimplementasi keseimbangan hara pada kebun, mengoptimasi produktifitas dan keuntungan, tanpa menyebabkan efek buruk di luar kebun.

Informasi lebih lanjut:

The *SIX EASY STEPS* approach. [On-line].

ReefWise Farming. Qld. Government, Australia. [On-line].



Disampaikan oleh R. Norton, IPNI, Australia, December 2011.

Studi Kasus 9.1-2 Bagaimana Penataan Hara 4T mengurangi emisi gas rumah kaca. Program Penataan Hara 4T membentuk dasar dari Protokol Pengurangan Emisi Nitrogen Oksida (*Nitrous Oxide Emission Reduction Protocol, NERP*) untuk perhitungan karbon di tanah dengan cara yang perhitungan, dapat dipercaya, dan dapat dibuktikan di Alberta, Kanada. Protokol ini dikembangkan oleh ClimateCHECK dan *Canadian Fertilizer Institute* dan secara resmi diakui oleh *Alberta Environment* (Pemerintah Alberta) pada bulan Oktober 2010.

Selama pengembangan NERP, salah satu isu duluan yang diangkat adalah potensi sebab-akibat antara pengurangan emisi nitrogen oksida (N_2O) dengan kehilangan produksi tanaman. Namun, dua cabang terpisah untuk kuantifikasi emisi N_2O memperhitungkan faktor tersebut. Pendekatan “Tingkat 2” yang diterima oleh Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) untuk catatan gas rumah kaca Kanada menyebutkan faktor emisi khusus wilayah tertentu sebagai fungsi dari aplikasi dosis N. Di seluruh wilayah Kanada, faktor emisi ini bervariasi antara 0,2% sampai 1,7% dari aplikasi N yang diemisikan sebagai N_2O .

Untuk memperhitungkan 3T yang terdiri dari sumber yang tepat, waktu yang tepat, dan tempat yang tepat, diterapkan pengubah penurunan (*reduction modifier*), diambil dari penilaian ahli, yang diaplikasikan ke setiap tingkat kinerja. Tiga tingkat kinerja praktek manajemen menguntungkan (*beneficial management practice, BMP*) dari tingkat *Basic*, *Intermediate*, sampai *Advanced*, memungkinkan penerapan berbagai tingkatan BMP dan juga intensitas dari pemantauan data, dengan peningkatan taraf manajemen berbasis lanskap (*landscape-directed*). Semakin tinggi tingkat kinerja, semakin besar potensi untuk mengurangi emisi yang tercermin dari pengubah penurunan yang lebih kecil. Contoh BMP untuk tanah dari padang rumput Kanada Barat berdasarkan tingkat kinerja dasar (*Basic*) termasuk penggunaan formulasi berbasis amonia, aplikasi pupuk *spring* atau *split*, dan lajur. Tingkat menengah (*Intermediate*) juga memerlukan formulasi berbasis amonia, tetapi juga harus menggunakan pupuk lambat tersedia/terkendali atau *inhibitor*. Dalam katagori lanjut (*Advanced*), dosis aplikasi N dihitung berdasarkan informasi lapangan yang dapat diperhitungkan, berupa turunan dari sampel grid, gambar satelit, atau peta tanah digital.

Dengan penerapan prinsip-prinsip Penataan Hara 4T, NERP berusaha untuk:

- “Mengoptimalkan tanggap tanaman setiap unit penambahan nitrogen” dan,
- “Meminimalkan kesempatan akumulasi atau bertahannya N-nitrate dalam tanah yang berpotensi mengalami denitrifikasi, dan/atau diemisikan langsung atau tidak langsung sebagai N_2O atau hilang dari sistem melalui pencucian”.

Protokol menetapkan peran untuk penasihat profesional yang terakreditasi (*accredited professional advisors, APA*) untuk membantu petani dalam persiapan dan implementasi program 4T, dan juga dalam perhitungan terkait kredit karbon. *Professional Agrologist (PAGs)* dan/atau Penasihat Tanaman Bersertifikat (*Certified Crop Advisers, CCAs*) memenuhi syarat sebagai APA dengan menyelesaikan pelatihan khusus dalam kebutuhan Penataan Hara 4T dan NERP, dan juga lulus ujian akreditasi. Hanya APA yang berwenang untuk menandatangani program. Kebutuhan tambahan mungkin diterapkan, tergantung hukum dan ketentuan setempat.

Pendekatan kuantifikasi dari NERP berdasarkan metode-metode yang digunakan oleh Laporan Pencatatan Gas Rumah Kaca Nasional (*National Greenhouse Gas Inventory Report*) Kanada, yang sesuai dengan standar laporan yang ditetapkan oleh Konvensi Kerangka PBB mengenai Perubahan Iklim (*United Nations Framework Convention on Climate Change*). NERP dikembangkan mengikuti ketentuan standar ISO 14064-2, yang sesuai dengan kebutuhan *Alberta Offset System*, dari *Climate Action Reserve*, dan berbagai program relawan gas rumah kaca di Amerika Utara. NERP Alberta adalah yang pertama di dunia. NERP sedang dievaluasi kelayakannya untuk pelaksanaan di Amerika Serikat oleh Institut Pupuk (*The Fertilizer Institute*).

NERP dikembangkan melalui proses konsultasi yang menyeluruh dan transparan dengan ilmuwan untuk mendapatkan persetujuan dari *Alberta Offset System*. Pakar-pakar ini mewakili perguruan tinggi agronomi terbesar di Kanada, *Agriculture and Agri-Food Canada*, *International Plant Nutrition Institute*, ahli tanah tingkat provinsi, dan pemangku kepentingan pada industri tersebut. Pakar-pakar dari mancanegara juga diikutsertakan.

Pada awal Workshop Konsultasi untuk NERP yang diadakan di Calgary pada tahun 2008, para pakar yang terlibat menyepakati desain umum NERP sesuai dengan 4T. Walaupun kesepakatan telah tercapai mengenai elemen-elemen utama NERP, para pakar menemukan beberapa celah yang membutuhkan perkembangan lebih lanjut. Celah-celah ini akhirnya diselesaikan dalam *Decision Paper*, yang dikumpulkan kepada pakar dalam format seminar web online (*webinar*) untuk mengajukan proses persetujuan konsensus. Peserta seminar web menyelesaikan perkembangan NERP sehingga memungkinkan adanya standarisasi dan pengumpulan untuk ulasan formal dan proses persetujuan dari *Alberta Offset System*. Proses ini adalah contoh baik bagaimana prinsip 4T dan keikutsertaan pemangku kepentingan dapat diterapkan untuk mengatasi isu-isu sosial dan tantangan manajemen hara.

Pustaka

Alberta Environment. 2010. Quantification Protocol for Agricultural Nitrous Oxide Emissions. [On-line].

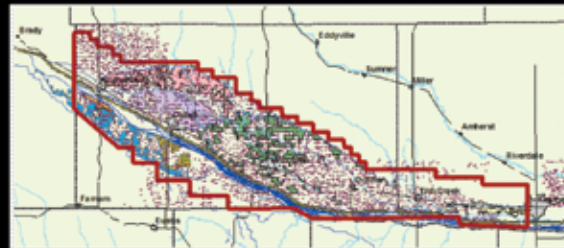
Disampaikan oleh C.S. Snyder, IPNI, USA, January 2012.

Studi Kasus 9.1-3 Praktek manajemen air dan hara memperbaiki kualitas air tanah di Nebraska, Amerika Serikat. Sejak tahun 1985, konsentrasi nitrat pada air tanah dan air permukaan (badan air) di distrik di seluruh wilayah *Lower Platte Natural Resource District (NRD)* di Nebraska, Amerika Serikat telah dipantau dengan seksama.

Area teras di bagian utara distrik tersebut terdapat endapan lempung berdebu dan tanah yang bertekstur medium sampai pasir halus, dengan kedalaman air tanah 1,5 sampai dengan 7,5 m di bawah permukaan, dan secara intensif dipakai untuk pertanaman jagung dengan pengairan. Di area teras ini, level nitrat pada air tanah secara konsisten selalu lebih tinggi dibandingkan dengan standar air minum yaitu 10 mg N-nitrat/L.

Studi Area Fase I Irigasi

Peta air permukaan dan irigasi air tanah



*Titik-titik adalah sumur irigasi

Tiga tingkat (fase) manajemen N telah diimplementasikan, tergantung level N-nitrat pada air tanah. Area dengan sumur irigasi mengandung konsentrasi nitrat rata-rata $\leq 7,5$, 7,6 sampai 15, dan $\geq 15,1$ mg/L ditandai berturut-turut sebagai Fase I, II, dan III. Sejak tahun 1987, kebanyakan petani sudah diharuskan memenuhi syarat dari Fase I, dengan lebih sedikit dibutuhkan untuk memenuhi syarat dari Fase II, III, dan IV. Semua operator yang menggunakan pupuk wajib mengambil sertifikasi setiap 4 tahun, dan dianjurkan untuk mempraktekkan fase-fase yang lebih tinggi walaupun tidak diperlukan. Rekomendasi dosis N berdasarkan target panen (105% dari 5 tahun lalu) dengan catatan untuk tanaman terdahulu, N pada air irigasi, dan nitrat tanah sampai kedalaman 90 cm. Beberapa persyaratan terkait manajemen hara diuraikan berikut.

Fase I

- Aplikasi pupuk N pada musim gugur dilarang pada tanah tidak-berpasir sebelum tanggal 1 November
- Aplikasi pupuk N pada tanah berpasir dilarang sampai 1 Maret

Fase II

- Uji tanah dan irigasi air tahunan untuk N-nitrat
- Laporan aplikasi pupuk tahunan
- Pupuk nitrogen hanya diijinkan pada tanah tidak-berpasir dari 1 November sampai 1 Maret jika penghambat (*inhibitor*) nitrifikasi yang teruji digunakan, dengan arsip dari penjual pupuk

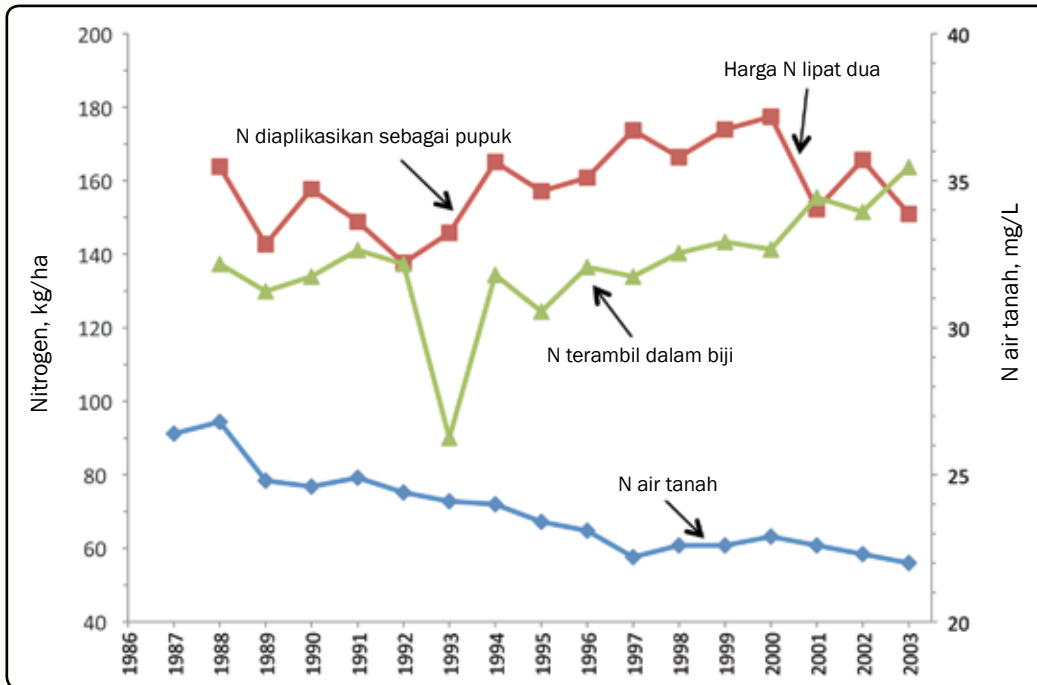
Fase III

- Aplikasi pupuk N dilarang sampai pada musim gugur dan musim dingin di semua jenis tanah sampai 1 Maret
- Aplikasi pada musim semi memerlukan aplikasi secara terpisah (sebelum tanam atau di sekitar tanaman berupa jalur atau piringan) atau penggunaan penghambat nitrifikasi yang teruji, dengan dilengkapi arsip dari penjual pupuk bila 50% atau lebih dari pupuk N digunakan sebelum menanam

Fase IV (untuk area di mana kadar nitrat di air tanah tidak menurun dengan laju yang dapat diterima)

- Target produksi ditetapkan oleh NRD
- Kadar pupuk N tidak melebihi standar yang ditetapkan oleh NRD
- Staf NRD bekerja langsung dengan operator *best management practices*.

Hasil: Kadar nitrat air tanah di teras daerah utara menurun dari tahun 1987 sampai akhir periode studi pada tahun 2015 (lihat Gambar). Penurunan sekitar 20% menandakan peningkatan pengambilan N oleh panen produksi tanaman, dan 50% menandakan adanya pergeseran dari irigasi alur menjadi irigasi menggunakan alat penyiram (*sprinkler*). Mungkin, dari perbedaan dapat disimpulkan bahwa sisa 30% dari penurunan disebabkan dari perubahan waktu aplikasi dan sumber (peningkatan penggunaan penghambat nitrifikasi). Penurunan nitrat pada air tanah yang lebih lanjut dapat membutuhkan adopsi BMP terbaru, atau pemakaian teknologi tambahan seperti pupuk N lepas terkendali dan penggunaan sensor N kanopi tanaman.



Produksi tanaman dan pengambilan N meningkat seiring waktu, kadar nitrat di air tanah menurun.

Catatan: Data tersebut untuk pupuk N komersial yang diaplikasikan dan N yang diangkut dalam produksi lahan jagung beririgasi di teras daerah penelitian NE CEAP di *Central Platte Natural Resources District* dan konsentrasi nitrat dalam akuifer (batuan permeabel) primer di bawah teras.

Diadaptasi dari: Exner, M.E., H. Perea-Estrada, dan R.F. Spalding. 2010. *The Scientific World Journal* 10: 286-297. Data untuk Gambar disediakan oleh Dr. R. Ferguson dan Dr. M. Exner, U. of Nebraska.



Sekitar setengah dari penurunan nitrat air tanah dapat menandakan perubahan dari parit menjadi irigasi sprinkler.

Disampaikan oleh C.S. Snyder, IPNI, USA, January 2012.

Studi Kasus 9.1-4 Mengatur pupuk fosfor melalui taraf uji tanah meningkatkan produksi pangan dan kondisi lingkungan di China. China adalah negara yang memiliki populasi yang sangat besar dan sumber lahan yang terbatas. Untuk memastikan keamanan pangan dan kenaikan berkelanjutan dalam produksi tanaman, China sudah memberikan perhatian khusus selama 60 tahun terakhir dalam membangun kesuburan tanah.

Dengan sejarah beribu tahun yang mengandalkan kandungan organik tanah dan mendaur ulang sisa hasil panen sebagai sumber hara untuk mempertahankan kesuburan tanah, memasuki tahun 1950-an kebanyakan lahan yang dapat digarap di China kesuburannya rendah dan memiliki tingkat produktivitas panen yang sangat rendah. Sejak saat itu, penggunaan pupuk N sudah biasa dilakukan dan hasil panen meningkat, mengangkut lebih banyak P dan hara-hara lain dari tanah. Mengingat sebagian besar P yang terserap tanaman ada di bagian yang dipanen (sekitar 80% untuk hasil panen tanaman biji-bijian), P tanah cepat sekali habis, dan P tanah rendah menjadi faktor yang sangat membatasi produksi. Pada tahun 1980-an, berdasarkan hasil survei kedua kesuburan tanah nasional, sekitar 48% dari lahan garapan mengandung kadar P Olsen yang sangat rendah (di bawah 5 mg/kg), dan 30% yang lain dianggap rendah (di bawah 10 mg/kg).

Mengingat kondisi tanah P, dan dengan objektif nasional untuk memastikan keamanan pangan dan untuk menaikkan kesuburan tanah, pupuk P menjadi bagian penting dalam program kesuburan di seluruh wilayah China, mulai dari selatan dan secara bertahap menyebar ke utara. Diperkirakan dari tahun 1981 sampai 2000, sebanyak 133 juta metrik t P_2O_5 telah diaplikasikan di lahan yang dapat digarap di China sebagai pupuk kimiawi. Mengasumsi bahwa tingkat akumulasi pemanfaatan (efisiensi pengambilan/penyerapan) dari P sebanyak 50%, rata-rata sekitar 480 kg/ha P_2O_5 terakumulasi di tanah. Kalau mempertimbangkan sumber-sumber organik P, akumulasi P di dalam tanah akan lebih besar lagi (Li, 2003).

Keseimbangan menyeluruh dari tanah P (yaitu, $P_{input} - P_{output}$) berubah dengan cepat setelah melewati jangka panjang dari keseimbangan negatif yang sangat besar yang berlangsung dari tahun 1950-an, 1960-an, dan 1970-an. Mulai tahun 1980-an, keseimbangan P di lahan yang dapat digarap menjadi positif dan P mulai terakumulasi di dalam tanah. Diperkirakan tanah di China menerima surplus P sebanyak 79 kg P_2O_5 /ha di tahun 2005. Dengan kandungan P yang tinggi pada sistem tanah-produksi, diharapkan bahwa P tanah secara bertahap bertambah dan kesuburan tanah P akan membaik. Walaupun tidak ada data langsung dari survei nasional untuk melakukan verifikasi ini, banyak yang menganggap bahwa total lahan yang dapat digarap dengan kandungan kekurangan P (yaitu, level P Olsen di bawah 10 mg/kg) telah menurun menjadi lebih rendah dari 50%. Hasil dari analisa P yang dilakukan oleh CAAS-IPNI *Soil and Plant Analysis Laboratory* terhadap 43,156 sampel tanah yang dikumpulkan dari tahun 1991 sampai dengan 2007 juga menunjukkan bahwa 48% dari tanah yang diuji kekurangan kandungan P.

Baru-baru ini, dosis tinggi pemakaian pupuk P telah membantu China dalam meningkatkan produksi hasil panen dan menaikkan kesuburan tanah P. Namun, pada saat yang sama, dengan peningkatan akumulasi P dalam tanah, risiko kehilangan P dari lahan pertanian dan dampaknya terhadap lingkungan tidak dapat diabaikan. Walaupun informasi mengenai kontribusi kehilangan P dari lahan pertanian menjadi polusi badan air sangat terbatas, telah dilaporkan bahwa 14% sampai 68% dari total P di beberapa danau terpilih berasal dari lahan pertanian (Li, 2003).

Dengan perubahan-perubahan tersebut pada kesuburan tanah di China, untuk manfaat ekonomi dan lingkungan, butir-butir berikut ini dapat dipertimbangkan dalam mengembangkan strategi pemupukan P:

1. Strategi aplikasi untuk P sebaiknya sesuai dengan hasil uji tanah. Untuk kebanyakan tanaman aplikasikan secukupnya untuk membangun tingkat P tanah ketika uji tanah Olsen di bawah 20 mg/kg. Mengganti pengambilan (*removal*) pada tanah oleh tanaman di atas tingkat ini, dan jangan aplikasikan P pada tanah dengan uji tanah yang kadar P sangat tinggi.
2. Untuk semua kondisi, dibutuhkan perhatian khusus untuk mengendalikan kehilangan P tanah melalui erosi tanah.
3. Program pupuk P sebaiknya dikembangkan untuk keseluruhan rotasi panen dengan perhatian untuk efisiensi penggunaan pupuk P menyeluruh. Beri perhatian pada efisiensi pemulihan P-terakumulasi jangka panjang untuk sistem pertanian yang berbeda.
4. Sadari bahwa berbeda pertanaman (yaitu, sayuran vs. tanaman biji-bijian) terdapat perbedaan kebutuhan tingkat P tanah. Nilai kritis uji tanah P berbeda untuk tingkat produksi yang berbeda juga perlu diidentifikasi.



Respon kedelai (kanan) pada P disebabkan pada aplikasi perlakuan pupuk “optimum” (Optimum Fertilization Treatment, OPT) di Propinsi Heilongjiang, China Timur Laut.

Perubahan efisiensi pupuk di China mengikuti hukum minimum (*Law of Minimum*) dan prinsip-prinsip lainnya yang terkait dengan hara tanaman. Sebelum tahun 1950-an, petani-petani China menggunakan pupuk organik untuk memelihara keseimbangan hara pada sistem tanah/tanaman dengan kapasitas produksi yang rendah. Setelah tahun 1950-an, dengan kenaikan produksi dan peningkatan penggunaan N dan P, pengambilan K tanaman yang lebih tinggi berakibat pada berkurangnya K tersedia dalam tanah dan keseimbangan negatif untuk K pada sistem tanah/pertanaman. Berdasarkan studi dan keseimbangan hara yang diperkirakan oleh Li Jiakang pada tahun 2003, keseimbangan *input-output* N dan P dalam sistem tanah/tanaman berubah dari negatif ke positif pada pertengahan 1980-an, namun tingkat kandungan K masih negatif pada tahun 2000 (**Tabel 1**).

Tabel 1. Keseimbangan *input-output* hara pada tanah pertanian di China (dalam satuan 1.000 tonne).

	Tahun	1965	1975	1985	1995	2000
Pupuk Kandang Organik	N	2,930	4,100	5,030	6,110	6,520
	P₂O₅	1,380	1,940	2,560	3,300	3,440
	K₂O	3,060	4,620	6,210	7,600	8,320
Pupuk Anorganik	N	1,210	3,640	12,590	22,240	25,140
	P₂O₅	550	1,610	4,190	10,350	9,730
	K₂O	3	130	980	3,360	6,590
Hasil	N	5,220	7,490	11,140	13,730	16,620
	P₂O₅	2,370	3,340	4,790	5,770	6,640
	K₂O	5,600	8,130	12,080	14,550	17,390
Keseimbangan	N	-1,690	-1,570	190	3,500	2,470
	P₂O₅	-600	-280	710	4,890	3,610
	K₂O	-2,540	-3,380	-4,890	-3,550	-2,480

Sumber: Li Jiakang et al. 2003.

Pustaka

- Jin, J. Y. 2008. In Li, H.D. (ed.) “Plant Nutrient Management in Sustainable Agriculture.” Jiangxi People’s Press. Nanchang, China. p 9-18.
- Lu, R. 2003. “Phosphate and Compound Fertilizer”, Vol 18, No 1, 4-8. (in Chinese)
- Li, J., B. Lin, and G. Liang. 2003. In Lin Bao (ed.) Chemical Fertilizer and No-pollution Agriculture. China Agriculture Press. 2003, 175-188. (in Chinese)

Disampaikan oleh J. Jin, IPNI, China, January 2012.

- Adhesi** – Ketertarikan molekular antara permukaan yang menyatukan berbagai zat menjadi satu. Air melekat pada partikel tanah.
- Adsorpsi** - Adhesi pada lapisan molekul yang sangat tipis, kepada permukaan-permukaan padat atau cair dengan apa yang kontak.
- Adsorpsi, Elektrostatik** - Pengisapan yang disebabkan oleh ketertarikan elektrik ion kepada permukaan yang bermuatan.
- Aerasi** - Proses dimana udara di dalam tanah digantikan dengan udara dari atmosfer. Laju aerasi tergantung dengan volume dan kelanjutan pori-pori dalam tanah.
- Agregat** - Partikel individual pasir, endapan, dan liat yang terikat menjadi satu partikel lebih besar. Agregat dapat berbentuk bola, blok, piringan, prisma, atau kolom.
- Aliran Massa** - Cairan bergerak karena adanya tekanan. Gerakan panas, gas, atau zat terlarut bersama-sama dengan cairan mengalir dimana mereka terkandung. Misalnya, $\text{NO}_3\text{-N}$ bergerak dengan aliran massa dalam tanah.
- Aliran Permukaan, Limpasan Air** - Air yang mengalir pada permukaan tanah bukan yang masuk.
- Alkalin** - Mengandung atau melepaskan kelebihan OH^- dibanding H^+ .
- Amandemen Tanah** - Materia seperti aglime, gipsum, serbuk gergaji, atau pendingin sintetik, yang dimasukkan ke dalam tanah untuk membuatnya lebih memadai untuk pertumbuhan tanaman. Istilah ini umumnya mengacu pada penambahan bahan selain yang digunakan terutama sebagai pupuk.
- Amonifikasi** - Proses biokimia dimana zat amonia-N dilepaskan dari senyawa organik yang mengandung N.
- Analisa Daun** - Estimasi status hara dari tanaman atau kebutuhan hara tanah untuk memproduksi / menumbuhkan tanaman melalui analisis kimia atau manifestasi warna daun tanaman, atau dengan kedua metode tersebut.
- Analisis Tanaman** - Sebuah analisis kuantitatif laboratorium untuk menentukan kandungan total hara atau hara dalam jaringan tanaman.
- Aplikasi Dipecah** - Pupuk diterapkan dua kali atau lebih selama musim tanam. Sebelum masa tanam dan setelah adalah yang paling umum.
- Aplikasi Penusukan** - Proses dimana bahan pupuk disatukan ke dalam tanah dengan alat penusukan/pisau.
- Aplikasi Permukaan Lajur** - Penempatan pupuk cair atau padat baik untuk menggiring atau memaksa aliran pada permukaan tanah.
- Aplikasi Sampingan, Pupuk** - Aplikasi pupuk ke sisi baris tanaman setelah tanaman mulai tumbuh.
- Aplikasi Tabur** - Penggunaan pupuk padat atau cair, atau material lainnya, pada permukaan tanah, dengan atau tanpa pengolahan tanah lebih lanjut. Tidak ada lokasi tertentu pada tumbuhan yang ditetapkan. Hara dapat diberikan sebelum atau sesudah tumbuhan ditanam.
- Aplikasi Top-Dressed, Aplikasi Permukaan** - aplikasi pupuk di permukaan tanah setelah tanaman telah bertumbuh.
- Asam** - Zat yang melepaskan H^+ ; kondisi dengan aktivitas H^+ melebihi OH^- .
- Bahan Pengapuran** - Material pengapuran pertanian adalah produk dengan senyawa Ca dan Mg yang mampu menetralkan keasaman tanah.
- Basa** - Zat yang bereaksi dengan ion H^+ atau melepaskan ion OH^- ; zat yang menetralkan asam dan menaikkan pH.
- Basa yang Dapat Ditukar** - Sebuah kation basa yang diserap koloid tanah, tetapi dapat digantikan dengan H^+ atau kation lainnya.
- Batu Fosfat** - Batu alami yang mengandung satu atau lebih mineral kalsium fosfat dengan kadar kemurnian dan jumlah yang cukup untuk memungkinkan penggunaannya, baik secara langsung atau setelah dipadatkan (konsentrasinya), dalam pembuatan produk komersial. Kebanyakan sumber batu fosfat yang digunakan dalam pembuatan pupuk di Amerika Serikat dan Kanada berdasarkan jenis mineral apatit, terutama kalsium fosfat.
- Besi (Fe)** - Sebuah hara mikro logam penting dan diserap oleh tanaman sebagai ion besi (Fe^{2+}). Besi adalah katalis dalam pembentukan klorofil dan bertindak sebagai pembawa oksigen. Hal ini juga membantu membentuk sistem enzim pernafasan pada tanaman.
- Bobot Jenis** - Di tanah, massa kering (berat) tanah per satuan volume massal.
- Bobot Volume** - Volume, termasuk zat padat dan pori-pori, dari massa tanah yang diambil secara acak.
- Boron (B)** - Elemen penting yang dapat terlibat dalam pemindahan karbohidrat. Penting untuk pertumbuhan saluran serbuk sari, pengecambahan dari butiran serbuk sari. Kemungkinan defisiensi hara mikro yang paling umum pada pertumbuhan tumbuhan.
- Budidaya** - Praktek pengolahan lahan yang digunakan untuk mempersiapkan lahan untuk pembibitan atau pencangkakan atau kemudian untuk pengendalian gulma dan menggemburkan tanah.
- Buffer pH, pH Penyangga** - Satuan yang terkait dengan jumlah kapur yang dibutuhkan untuk menetralkan keasaman dalam tanah tertentu.
- Buffering** - Proses yang membatasi atau mengurangi perubahan nilai pH ketika asam atau basa ditambahkan. Secara umum, proses yang membatasi pergeseran pada konsentrasi terlarut dari ion apapun ketika ditambahkan atau dikurangi dari larutan.
- Cadangan (Potensi) Keasaman** - Ion H^+ yang dapat ditukar di dalam koloid tanah dan menghidrolisis Al^{3+} disebut sebagai cadangan atau potensi keasaman. Cadangan keasaman berada dalam keseimbangan yang dinamis dengan ion H^+ dalam larutan tanah (keasaman aktif). Perhitungan konservatif menyarankan cadangan keasaman 1.000 hingga 100.000 kali lebih besar untuk tanah liat dibandingkan keasaman aktif.
- Debu** - Sebuah partikel anorganik dengan ukuran diameter berkisar antara 0,05 mm dan 0,002 mm.
- Denitrifikasi** - Reduksi biokimiawi nitrat (NO_3^-) atau nitrit (NO_2^-) menjadi gas N_2 , NO, atau N_2O . Terjadi pada kondisi kekurangan O_2 .
- Desorpsi** - Pelepasan ion atau molekul dari suatu permukaan. Kebalikan dari adsorpsi.

Difusi - Gerakan molekuler di sepanjang suatu gradien. Difusi air terjadi dari daerah basah ke kering. Difusi gas dan zat terlarut terjadi dari zona yang berkonsentrasi tinggi ke zona berkonsentrasi rendah.

Dolomit - Sebuah mineral yang terdiri dari Ca dan karbonat Mg; istilah dapat diterapkan pada batu kapur yang mengandung Mg.

Efisiensi Penggunaan Pupuk - Satuan dari unit panen yang dihasilkan dibanding dengan unit hara yang disediakan untuk tanaman.

EkUILIBRIUM - Kondisi pada reaksi kimia atau pada seluruh ekosistem dimana hanya ada perubahan-perubahan kecil pada selang waktu yang lama.

Ekuivalen, Kesetaraan - Berat dalam gram (g) dari ion atau senyawa yang menggabungkan atau menggantikan 1 g H⁺. Berat atom atau formula atom dibagi dengan valensinya.

Elektron - Partikel kecil bermuatan negatif yang merupakan bagian dari struktur atom.

Elemen - Zat apapun yang tidak dapat dibagi lebih lanjut kecuali dengan disintegrasi nuklir.

Enzim - Katalis yang mengatur dan mengendalikan reaksi biokimia sel.

Erosi - Terkikisnya permukaan tanah oleh air yang mengalir, angin, es, atau faktor geologi. Erosi yang dipercepat adalah erosi angin atau air dengan kecepatan yang lebih cepat dari normal atau dari kecepatan geologis, biasanya berhubungan dengan aktivitas manusia.

Eutrofikasi - Pertumbuhan melimpah dari tanaman air yang mengarah kepada kondisi kekurangan oksigen di danau atau sungai, yang dipercepat oleh pengayaan (peningkatan kandungan) hara.

Fertigasi - Aplikasi pupuk dalam air irigasi.

Fiksasi - Proses dimana hara tanaman yang tersedia untuk sementara tidak dapat disediakan karena bereaksi dengan komponen-komponen tanah. Secara umum, mengacu pada reaksi dari P, NH₄⁺, dan K yang mengarah pada ketersediaan yang menurun.

Fiksasi Nitrogen - Konversi nitrogen atmosfer (N₂) menjadi bentuk organik atau anorganik. Khususnya pada tanah, fiksasi mengacu pada asimilasi N₂ dari udara dalam tanah oleh organisme tanah dalam pembentukan senyawa N yang tersedia bagi tanaman. Proses pengikatan N terkait dengan bintil akar tanaman legum dikenal sebagai fiksasi simbiosis N.

Fiksasi Nitrogen Biologis - Reduksi dan asimilasi dari atmosfer N (N₂), kemampuan dari bakteri tertentu yang hidup bebas di alam dan bakteri simbiotik.

Fosfat - Sebuah garam dari ester asam fosfat. Namun demikian, dalam industri pupuk, istilah fosfat biasanya diterapkan untuk materi mengandung P yang digunakan sebagai pupuk. Juga digunakan dalam referensi untuk P₂O₅, penyebutan kandungan P dalam pupuk.

Fosfor (P) - Salah satu hara penting yang dibutuhkan oleh tanaman dan diklasifikasikan sebagai salah satu dari tiga hara utama. Fosfor, hara tanaman yang dapat berpindah-pindah, memainkan peran penting dalam fotosintesis, respirasi (pemanfaatan gula), penyimpanan dan pemindahan energi, pembelahan sel, pembesaran sel, kode genetik dan banyak proses tanaman lainnya.

Fotosintesis - Proses dimana tanaman hijau menangkap energi cahaya dengan menggabungkan air dan karbon dioksida untuk membentuk karbohidrat. Pigmen klorofil diperlukan untuk konversi energi cahaya menjadi energi kimiawi.

Gypsum - Mineral atau batu yang terdiri dari kalsium sulfat (CaSO₄·2H₂O).

GIS - *Geographic information system* atau sistem informasi geografis. Sebuah istilah umum untuk sistem yang menyimpan, menampilkan, dan menganalisa data peta digital.

Glukosa - Sebuah gula umum (karbohidrat) dengan enam atom C per molekul. Berada di semua sel. Bagian dari selulosa, pati, dan polisakarida lainnya.

GPS - *Global positioning system*. Sebuah jaringan satelit yang menghasilkan sinyal terus menerus yang mengidentifikasi posisi mereka. Alat penerima elektronik di bumi menggunakan informasi ini untuk menentukan lokasi.

Gulma-dan-Pakan - Sebuah istilah yang digunakan dalam industri kimia pertanian untuk menunjukkan pencampuran aplikasi pupuk dan herbisida.

Hara - Elemen yang memberikan kontribusi untuk pertumbuhan dan kesehatan organisme.

Hara Esensial, Hara Penting - Unsur yang dibutuhkan tanaman untuk menyelesaikan siklus hidup. 17 unsur penting untuk pertumbuhan tanaman adalah: karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), tembaga (Cu), klorida (Cl), besi (Fe), boron (B), mangan (Mn), seng (Zn), nikel (Ni), dan molibdenum (Mo).

Hara Makro - Hara tanaman penting yang diperlukan oleh tanaman dalam proporsi terbesar.

Hara Mikro - Hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sangat kecil. Hara mikro esensial antara lain B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, dan Zn.

Hara Mobile - Hara yang dapat dipindahkan dari jaringan yang lebih tua ke jaringan muda pada tanaman.

Hara Primer - Salah satu dari tiga hara N, P, dan K yang paling sering membatasi produksi tanaman.

Hara Residual - kandungan hara yang tersedia di tanah yang terbawa ke tanaman berikutnya setelah pemupukan tanaman sebelumnya.

Hara Sekunder - Kalsium, Mg dan S disebut hara sekunder karena mereka sangat penting untuk pertumbuhan tanaman, tetapi kurang sering kekurangan dibandingkan hara utama.

Hasil, Berkelanjutan - Hasil tahunan, atau periodik dari tanaman atau bahan tanaman dari sebuah area; menyiratkan praktik manajemen yang akan mempertahankan kapasitas produktif tanah.

Humus - Bagian dari zat organik tanah yang stabil dan berwarna gelap, yang tersisa setelah residu tanaman dan hewan telah terdekomposisi.

Immobilisasi - Konversi elemen dari bentuk anorganik ke bentuk organik dengan penggabungan dalam jaringan mikroba atau jaringan tanaman, sehingga kurang terjangkau/tersedia oleh tanaman.

Indeks Garam - Indeks yang digunakan untuk membandingkan kelarutan senyawa kimia yang digunakan sebagai pupuk. Kebanyakan senyawa N dan K memiliki indeks yang tinggi, sementara senyawa P memiliki indeks rendah. Senyawa Indeks garam yang tinggi diterapkan dalam kontak benih langsung pada tingkat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan bibit karena afinitas tinggi senyawa terhadap air.

Infiltrasi - Masuknya air ke dalam tanah.

Injeksi - Penempatan cairan pupuk atau anhidrat amonia (NH₃) dalam tanah, baik melalui penggunaan tekanan atau sistem non-tekanan.

Injeksi Coulter - Penggunaan *coulter* cakram tipis untuk menempatkan pupuk cair, kering, atau granul pada *band* vertikal di bawah permukaan tanah sampai dengan kedalaman penetrasi *coulter*. Sebuah variasi dari aplikasi pupuk lajur.

- Injeksi Titik** - Penggunaan roda berjari untuk menyuntikkan pupuk cair ke zona akar (10-12 cm) dengan jarak terpisah 20 cm. Injeksi *spoke* identik dengan injeksi titik.
- Ion yang Dapat Ditukar** - Ion yang tertahan oleh daya listrik pada permukaan yang bermuatan; dapat diganti melalui pertukaran dengan ion lain.
- Karbohidrat** - zat organik dengan rumus kimiawi $(CH_2O)_n$, contohnya gula dan polisakarida.
- Kalium (K)** - Kalium merupakan elemen penting, salah satu dari tiga hara utama termasuk N dan P. Kalium diperlukan oleh sebagian besar tanaman dengan jumlah yang sama seperti nitrogen. Kalium memiliki peranan penting dalam aktivasi sistem enzim, sangat penting untuk fotosintesis dan pembentukan serta pemanfaatan gula, memiliki peran penting dalam sintesis protein dan pemeliharaan struktur protein dan membantu tanaman untuk menggunakan air dengan lebih efisien.
- Kalsium (Ca)** - Hara penting, bagian dari dinding sel tanaman; diperlukan oleh beberapa enzim. Kalsium berguna dalam pengaturan metabolisme.
- Kapasitas Pertukaran Anion, KTA (Anion Exchange Capacity, AEC)** - Total jumlah anion yang dapat ditukar yang mungkin diserap oleh tanah.
- Kapasitas Pertukaran Kation, KTK (Cation Exchange Capacity, CEC)** - Jumlah total kation yang dapat ditukar yang mampu diserap oleh tanah.
- Kapur** - Istilah "kapur", "kapur pertanian", atau "aglime" diterapkan untuk batu kapur tanah yang mengandung kalsium karbonat ($CaCO_3$) dan magnesium karbonat ($MgCO_3$), kapur dihidrasi (kalsium hidroksida, $CaOH$) atau kapur dibakar (kalsium oksida, CaO). Kapur digunakan untuk mengurangi keasaman tanah dan menyediakan Ca dan Mg sebagai hara penting untuk tanaman.
- Kation** - Sebuah atom, sekelompok atom, atau senyawa yang bermuatan positif secara elektrik sebagai akibat dari hilangnya elektron.
- Keasaman, Aktif** - Aktivitas dari H^+ di fase berair dari tanah. Ini diukur dan disebut sebagai nilai pH.
- Karbonat** - Sebuah sedimen yang dibentuk oleh presipitasi organik atau anorganik dari larutan cair karbonat kalsium, magnesium atau besi, seperti batu gamping atau dolomit.
- Keasaman, Potensi atau Cadangan** - Jumlah H^+ yang dapat berpindah dalam tanah, yang dapat dilepaskan ke dalam larutan tanah melalui pertukaran kation, atau dihasilkan dari hidrolisis Al^{3+} .
- Kelas/Mutu Pupuk** - Analisis minimum yang terjamin, dalam bentuk persentase, dari hara tanaman utama yang terkandung dalam bahan pupuk atau pupuk campuran, dinyatakan sebagai N total, P_2O_5 yang tersedia, dan K_2O larut.
- Kelembaban Tersedia untuk Tanaman** - Air tanah yang cukup longgar sehingga dapat diserap oleh tanaman untuk digunakan.
- Kebutuhan Pupuk** - Jumlah unsur hara tertentu yang diperlukan, di samping jumlah yang disediakan oleh tanah, untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman sampai dengan level optimal tertentu.
- Kesuburan, Tanah** - Status tanah terkait dengan jumlah dan ketersediaan elemen (hara) yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman.
- Ketersediaan, Hara** - Istilah general, sering digunakan untuk mendeskripsikan persediaan atau kecukupan hara yang diserap oleh tumbuhan.
- Ketersediaan Air** - Porsi air di dalam tanah yang dapat langsung diserap oleh akar tumbuhan. Ada yang berpendapat bahwa air yang terkandung di tanah dengan tekanan sampai dengan 1,5 M Pa.
- Klorida (Cl)** - Sebuah hara penting, dibutuhkan tanaman untuk reaksi fotosintesis yang terlibat dalam evolusi oksigen. Dapat berperan dalam proses osmotik.
- Klorofil** - Pigmen hijau; menangkap cahaya untuk fotosintesis pada tumbuhan, alga, dan beberapa bakteri.
- Klorosis** - Sebuah kondisi abnormal pada tanaman dimana bagian hijau kehilangan warna atau menjadi kuning.
- Kobalt (Co)** - Kobalt sangat penting untuk hewan dan untuk fiksasi N. Dapat berperan dalam aktivasi enzim pada tanaman lain.
- Koloid** - Partikel organik atau anorganik dengan diameter kurang dari 0,001 mm. Koloid memiliki luas permukaan yang besar, sering sangat reaktif.
- Kompleks Pertukaran** - Semua materi (liat, humus) yang berkontribusi terhadap kapasitas pertukaran pada tanah.
- Kurva Retensi Air** - Grafik yang menunjukkan kadar kelembaban air tanah dibandingkan dengan energi yang digunakan untuk menghilangkan air (kurva pelepasan kelembaban).
- Lajur, Pemupukan** - Sebuah metode pemakaian pupuk. Pemupukan lajur adalah istilah umum dengan definisi memusatkan penggunaan pupuk dalam zona sempit yang dijaga utuh untuk menyediakan sumber hara yang terkonsentrasi. Pemakaian pupuk dapat dilaksanakan sebelum, pada saat, atau sesudah penanaman.
- Larutan Nitrogen** - Larutan dari pupuk N dalam air. Larutan nitrogen digunakan dalam pembuatan pupuk cair atau campur kering dan/atau disebar pada tanah, dengan aplikator khusus atau dalam air irigasi. Biasanya, istilah ini mengacu pada cairan urea-amonium nitrat (UAN), yang terbuat dari campuran urea dan amonium nitrat (NH_4NO_3) yang mengandung N sebanyak 28-32%.
- Larutan Tanah** - Fase cair dari tanah dan zat terlarutnya.
- Liat** - Partikel menyerupai kristal anorganik yang terdapat secara alami di tanah dan bagian lain dari kerak bumi. Ukuran diameter partikel liat kurang dari 0,002 milimeter (mm).
- Magnesium (Mg)** - Sebuah hara penting yang tergolong sebagai hara sekunder bersama dengan Ca dan S. Merupakan bagian dari klorofil dan secara aktif terlibat dalam fotosintesis. Magnesium membantu dalam metabolisme P, penggunaan zat gula, dan mulainya beberapa sistem enzim.
- Manajemen Hara** - Pemberian sumber hara yang tepat pada dosis, waktu dan tempat yang tepat untuk meningkatkan produktivitas tanaman sambil meminimalkan hilangnya hara ke udara dan air.
- Manajemen Spesifik-Lokasi** - Manajemen masukan hara, aplikasi pestisida, populasi tanaman dan praktek sistem tanam lainnya sesuai dengan perubahan karakteristik dan komposisi tanah.
- Mangan (Mn)** - Sebuah hara mikro logam dengan fungsi utama sebagai bagian dari sistem enzim pada tanaman. Mangan memulai beberapa reaksi metabolisme penting dan memainkan peran langsung dalam fotosintesis dengan membantu sintesis klorofil.
- Mikoriza** - Asosiasi yang biasanya simbiotik, dari jamur dengan akar tanaman. Hifa jamur menambah daerah akar dan serapan hara.
- Mikro Organisme, Tanah** - Bakteri tanah, jamur dan organisme lain yang mendaur ulang hara dan meningkatkan ketersediaan hara. Organisme patogen mungkin memiliki dampak negatif pada tanaman.

Mineralisasi - Pelepasan elemen dari bentuk organik ke bentuk anorganik selama pembusukan bahan organik yang mengandung elemen tersebut. Proses ini dilakukan oleh mikro organisme tanah.

Molibdenum (Mo) - Sebuah mikronutrien logam diperlukan dalam jumlah terkecil dari semua elemen esensial. Molibdenum diperlukan untuk sintesis dan aktivitas reduktase enzim nitrat. Molibdenum juga penting untuk proses fiksasi nitrogen simbiosis oleh bakteri Rhizobia pada bintil akar leguminosa.

Muka Air Tanah - Batas atas air tanah atau tingkat di bawahnya dimana tanah mencapai titik jenuh dengan air.

Mulsa - Materi apapun yang disebar di atas permukaan tanah untuk melindungi tanah dari air hujan, sinar matahari, pembekuan atau penguapan.

Nekrosis - Matinya jaringan tanaman.

Nikel (Ni) - Hara penting yang digolongkan sebagai mikronutrien. Diserap tanaman dalam bentuk Ni^{2+} . Nikel adalah komponen logam dari urease yang mengkatalisis konversi urea menjadi amonia. Nikel juga memiliki peran bermanfaat dalam metabolisme N dari tanaman legum.

Nitrifikasi - Pembentukan nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-) dari ion amonium (NH_4^+) melalui kegiatan bakteri-bakteri tanah tertentu; oksidasi biokimia dari NH_4 menjadi NO_3 .

Nitrobacter - Sebuah genus dari bakteri tanah kemoautotrofik aerobik obligat yang mengoksidasi ion NO_2 menjadi ion NO_3^- dalam tahap akhir pada proses nitrifikasi.

Nitrogen (N) - Hara utama yang penting, bagian dari setiap sel, tanaman atau hewan. Pada tanaman, nitrogen adalah bagian dari molekul klorofil, asam amino, protein dan banyak senyawa lainnya.

Nitrosomonas - Sebuah genus bakteri tanah kemo-autotrophic aerobik obligat yang mengoksidasi ion NH_4^+ menjadi NO_2 dalam tahap pertama di proses nitrifikasi. *Inhibitor* nitrifikasi seperti nitrapyrin secara khusus menghambat aktivitas organisme-organisme ini.

Oksidasi - Perubahan kimia yang melibatkan penambahan O_2 atau setaranya secara kimiawi. Termasuk hilangnya elektron dari atom, ion, atau molekul selama reaksi kimia. Oksidasi dapat meningkatkan muatan positif dari suatu elemen atau senyawa.

Oksigen - Sebuah gas tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berbau (O_2); elemen yang paling melimpah dan paling banyak didistribusikan di alam. Terdiri dari 21% volume udara.

Ortofosfat - Jenis umum senyawa fosfat yang diproduksi dari asam ortofosfat (H_3PO_4) termasuk NH_4 primer dan garam Ca.

Pasir - Sebuah partikel anorganik dengan ukuran diameter berkisar antara 2,00 mm dan 0,05 mm.

Pemupukan Dosis-Variabel - Sebuah teknik yang mengubah dosis aplikasi hara sesuai dengan perubahan kadar hara yang tersedia dalam tanah bersamaan dengan aplikator bergerak di lapangan.

Pemupukan Dribble, Pemupukan Alir - *Dribbling* atau *banding strip* merupakan bentuk penempatan lajur yang melibatkan penggunaan pupuk padat atau cair dalam lajur atau *strip* dengan lebar yang berbeda-beda pada permukaan tanah atau di permukaan sisa tanaman.

Pemupukan Lajur - Pupuk diaplikasikan pada permukaan lajur yang dapat ditanam melalui pengolahan lahan atau tetap berada pada permukaan tanah/residu permukaan.

Pemupukan Lajur - Penempatan pupuk dalam zona terkonsentrasi, di atas atau di bawah permukaan tanah.

Pemupukan Lajur Dalam - Pemupukan ini mengacu pada aplikasi pra-tanam di sebuah lajur hara terkonsentrasi yang ditempatkan 10 sampai 20 cm di bawah permukaan tanah. Beberapa aplikasi lebih dalam, sejauh 40 cm. Hara yang dipakai dapat berbentuk padat, cair atau gas.

Pencucian - Kehilangan bahan dalam larutan dengan aliran air melalui tanah. Di bidang pertanian, pencucian mengacu pada gerakan ke air bebas (perkolasi) keluar dari zona akar tanaman.

Penempatan Ganda - Penempatan dua materi pupuk pada saat yang sama, pada lajur di bawah permukaan tanah.

Penempatan Pupuk - Memusatkan pupuk pada lajur atau strip di lokasi tertentu di atas atau di bawah permukaan tanah. Contoh: baris benih pemula, pemupukan alir (*dribble*), lajur dalam.

Penghambat Nitrifikasi - Senyawa seperti nitrapyrin (N-serve) dan disiamida (DCD) yang menunda oksidasi bakteri dari ion amonium menjadi nitrit dan memperlambat produksi NO_3 . Tujuan dari penggunaan senyawa ini adalah untuk mengontrol pencucian NO_3 dengan menjaga N lebih lama dalam bentuk NH_4^+ , untuk mencegah denitrifikasi dari NO_3 -N, dan untuk menyediakan NH_4 -N bagi tanaman selama jangka waktu yang lebih lama.

Pengolahan - Kondisi fisik tanah yang terkait kemudahan persiapan lahan, kesiapan untuk persemaian, dan impedansi untuk munculnya bibit dan penetrasi akar.

Pengolahan Konservatif - Sistem pengolahan lahan apapun yang mempertahankan sisa panen minimal 30% setelah proses tanam, dibandingkan dengan pengolahan tanah bersih dimana semua sisa panen dikembalikan ke dalam tanah.

Pengolahan Konvensional - Sistem pengolahan tanah konvensional bervariasi dari daerah satu ke daerah lainnya dan juga untuk tanaman satu ke tanaman lainnya. Istilah pengolahan konvensional awalnya menyiratkan penggunaan bajak *moilboard*, *disking*, dan menyisir tanah untuk menyamakan permukaan tanah sebelum penanaman benih. Namun, pada kenyataannya, sistem pengolahan tanah konvensional kini berevolusi untuk penggunaan alat pengolahan lainnya, termasuk meluasnya penggunaan *chisel plow* sebagai alat pengolahan utama.

Penguapan - Hilangnya uap air dari tanah atau air bebas langsung ke atmosfer.

Penyerapan - Proses dimana zat terbawa ke dalam dan terikat di dalam zat lain, yaitu, asupan gas, air, hara, dan zat lain yang diserap tumbuhan.

Permeabilitas - Kemudahan sebuah medium berpori mentransmisikan cairan.

Persentase Kejenuhan Basa - Persentase dari total KTK (Kapasitas Pertukaran Kation atau *Cation Exchange Capacity*, CEC) yang menempati kation basa (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , and Na^+).

Pertanaman Jalur - Sebuah teknik untuk mengurangi erosi tanah dimana strip kosong atau strip baris tanaman diselingi dengan tanaman berbiji kecil, rumput atau tanaman legume (untuk jerami).

Pertukaran Ion - Pertukaran antara ion dalam larutan dan ion lain pada permukaan dari permukaan apapun - bahan aktif seperti liat atau humus.

Pertukaran Kation - Pertukaran antara kation dalam larutan dan kation lain pada permukaan material seperti koloid liat atau koloid organik.

- pH** - Satuan numerik keasaman dan alkalinitas. Secara teknis, pH adalah logaritma umum dari aktivitas timbal balik H^+ dalam cairan. Nilai pH 7 menunjukkan netralitas sempurna. Nilai antara 7 dan 14 mengindikasikan peningkatan alkalinitas, dan nilai antara 7 dan 0 mengindikasikan peningkatan keasaman.
- Polifosfat** - Sebuah senyawa fosfat umum yang ditandai dengan molekul yang mengandung dua atau lebih atom P. Polifosfat terdiri dari dua atau lebih molekul ortofosfat dengan hilangnya sebuah molekul air di antara setiap unit ortofosfat. Berasal dari asam superfosfor. Tersedia biasanya dalam bentuk pupuk cair yaitu polifosfat amonium.
- Pori Makro** - Pori-pori besar, biasanya terbentuk oleh akar dan hewan tanah yang kecil dan cacing.
- Pori-pori** - Ruang yang tidak ditempati oleh partikel padat dalam volume utuh tanah.
- Profil Tanah** - Bagian vertikal dari tanah membentang dari permukaan hingga ke dalam bahan induk.
- Pupuk Cair (Encer)** - Istilah ini berlaku untuk anhidrat dan NH_3 aqua, cairan N, dan pupuk campuran cair termasuk cairan bening dan suspensi padat dalam cairan.
- Pupuk** - Bahan apapun, alami atau buatan, yang ditambahkan ke tanah untuk menambah hara tanaman. Istilah ini umumnya dipakai untuk bahan buatan selain aglim atau gipsum.
- Pupuk Awal, Pupuk Starter** - Pupuk diterapkan pada tanaman baik dengan kontak langsung benih atau di samping dan di bawah benih. Tidak ada posisi yang benar-benar pasti/tepat.
- Pupuk Hijau** - Tumbuhan yang sengaja ditanam untuk dimasukkan ke dalam tanah untuk meningkatkan kesuburan tanah.
- Pupuk Lajur Samping** - Penempatan pupuk lajur pada satu atau kedua sisi baris benih (bibit).
- Pupuk Organik** - Bahan organik yang mengeluarkan atau menyediakan hara organik dalam jumlah bermanfaat ketika ditambahkan ke tanah.
- Pupuk Pop-Up** - Pupuk yang digunakan pada saat menanam benih secara langsung. Bentuk pupuk pemula.
- Pupuk Pra-Tanam** - Pupuk yang diterapkan ke tanah sebelum penanaman.
- Pupuk Suspensi** - Sebuah cairan yang mengandung senyawa unsur hara terlarut dan tidak larut. Suspensi dari bahan tidak larut biasanya diproduksi dengan bantuan zat pensuspensi non-pupuk (liat). Mekanik atau agitasi udara dapat diperlukan untuk memfasilitasi suspensi seragam hara tidak larut tanaman.
- Rasio Karbon:Nitrogen** - Rasio berat dari C organik dibanding dengan berat total N dalam tanah atau pada zat organik. Hal ini diperoleh dengan membagi persentase C organik dengan persentase total N.
- Regulasi Osmosis** - Pergerakan elektrolit seperti cairan ion dan gula melintasi membran sel untuk mempertahankan potensi air dalam sel tanaman.
- Residual Keasaman** - Keasaman utama yang berkembang dari penggunaan pupuk di permukaan tanah setelah garam sisa dikeluarkan dari lapisan melalui pencucian.
- Rhizobia** - Bakteri yang mampu hidup bersimbiosis dengan tanaman yang lebih tinggi, biasanya kacang-kacangan, dimana mereka mendapatkan energi, dan mampu menggunakan N_2 , mengubahnya menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tanaman.
- Salin - Tanah Alkali** - Tanah yang mengandung proporsi garam larut yang tinggi baik dengan alkalinitas tingkat tinggi atau jumlah Na yang bisa ditukar yang tinggi, atau keduanya, sehingga pertumbuhan sebagian besar tanaman kurang dari normal.
- Selulosa** - Karbohidrat yang jumlahnya paling melimpah pada tanaman.
- Seng (Zn)** - Sebuah hara mikro logam, salah satu yang pertama dikenal sangat penting bagi tanaman. Seng membantu dalam sintesis zat pertumbuhan tanaman dan sistem enzim dan sangat penting untuk menjembatani reaksi metabolisme tertentu. Hal ini diperlukan untuk produksi klorofil dan karbohidrat.
- Serapan Hara** - Proses penyerapan hara oleh tanaman, biasanya melalui akar. Jumlah kecil dari hara dapat diserap melalui daun dengan aplikasi hara pada daun.
- Siklus Karbon** - Urutan transformasi dimana karbon dioksida (CO_2) terserap dalam organisme hidup melalui fotosintesis atau dengan kemosintesis, dan dibuang melalui respirasi dan dengan kematian dan dekomposisi dari organisme, kemudian digunakan oleh spesies heterotrofik, dan akhirnya kembali ke wujud semula.
- Siklus Nitrogen** - Jalan yang diambil N dari atmosfer ke tanah, tanaman, hewan, dan manusia, dan kembali lagi ke atmosfer.
- Simbiosis** - Hubungan antara dua organisme hidup yang bermanfaat baik bagi keduanya, seperti fiksasi N oleh Rhizobia pada nodul pada akar kacang-kacangan.
- Simbiotik** - Pada bidang pertanian, definisinya biasanya berhubungan dengan bakteri pada nodul yang tumbuh pada akar kacang-kacangan yang memiliki kemampuan untuk mengikat N_2 atmosfer menjadi bentuk yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman legume inang.
- Struktur** - Di dalam tanah, susunan partikel primer menjadi unit sekunder dengan ukuran dan bentuk tertentu.
- Subsoil, Tanah Lapisan Bawah Permukaan** - Lapisan yang terletak di bawah lapisan tanah atas yang dapat mengandung bahan organik kurang atau karakteristik bahan induk tanah lainnya.
- Sulfur (S)** - Sebuah unsur hara sekunder penting, penting dalam membentuk protein di tanaman karena merupakan bagian dari asam amino tertentu. Sebagai bagian dari protein tanaman, penting untuk aktivitas enzim. Terlibat dalam pembentukan nodul dan fiksasi N di kacang-kacangan. Penting dalam pembentukan klorofil meskipun bukan konstituen dari molekul klorofil.
- Superfosfat** - superfosfat adalah produk yang diperoleh ketika batuan fosfat diperlakukan (direaksikan) baik dengan asam sulfat atau asam fosfat atau campuran asam tersebut. Superfosfat "normal", "biasa", atau "sederhana" mengacu pada semua nilai kandungan sampai 22% P_2O_5 tersedia, yang umumnya terbuat oleh proses pengasaman dari batuan fosfat dengan asam sulfat. Pada umumnya berisi mono-kalsium fosfat ditambah sejumlah besar gipsum.
- Tanah** - Lapisan atas bumi dimana tanaman tumbuh.
- Tanah Alkali** - Tanah dengan kadar alkali tinggi (nilai pH 8,5 atau lebih tinggi), atau dengan kandungan Na^+ yang sangat tinggi kemungkinan bertukarnya (15% atau lebih untuk kapasitas pertukaran), atau keduanya.
- Tanah Alkalin** - Tanah apapun dengan pH lebih besar dari 7,0.
- Tanah Asam, Tanah Masam** - Tanah yang mengandung kelebihan H^+ di larutan tanah (keasaman aktif) dan di atas permukaan koloid tanah (cadangan atau potensi keasaman). Khususnya, tanah dengan nilai pH kurang dari 7.

Tanah Berkapur - Tanah yang mengandung kapur bebas (karbonat) yang terlihat mengeluarkan buih ketika ditambahi dengan asam hidrochlorat yang diencerkan (1:10).

Tanah Netral - Tanah dengan persentase kapasitas pertukaran yang tinggi (80% sampai 90%) yang diisi oleh ion Ca dan Mg dan pH tanah mendekati 7.

Tanah Organik - Tanah yang secara keseluruhan mengandung persentase tinggi bahan organik.

Tanah Salin - Tanah non-alkali mengandung garam larut dalam jumlah tertentu yang dapat mengganggu pertumbuhan kebanyakan tanaman; mengandung kuantitas garam laut yang nyata.

Tanah Sodik, Tanah Asin - Tanah yang telah dipengaruhi oleh konsentrasi garam dan Na yang tinggi. Tanah sodik relatif rendah garam larut tetapi tinggi di pertukaran Na.

Tanpa Pengolahan - Sebuah sistem pertanian dimana tanaman ditanam pada sisa tanaman sebelumnya tanpa pengolahan tanah.

Tekstur Halus - Terdiri dari atau mengandung jumlah besar dari partikel kecil, di dalam tanah, mengacu pada persentase yang tinggi dari debu dan liat.

Tekstur Tanah - Proporsi relatif dari berbagai partikel berukuran penyusun tanah. Partikel-partikel ini sering disebut sebagai bagian-bagian tanah dan termasuk pasir, debu, dan liat.

Tenaga Kapiler - Tekanan antara air dan permukaan tanah di pori-pori kapiler kecil.

Tembaga (Cu) - Sebuah hara penting, merupakan komponen dari beberapa enzim pada tanaman. Diperlukan untuk pembentukan klorofil pada tanaman.

Teras - Dalam konservasi tanah, penambahan atau pengurangan ketinggian atau strip horizontal yang biasanya dibangun pada kontur untuk mengurangi erosi.

Terhidrasi - Air menempel atau tergabung sebagai bagian dari struktur kimiawi.

Titik Layu Permanen - Tingkat kelembaban tanah dimana tanaman layu dan gagal untuk memulihkan volume. Nilai tidak konstan.

Topsoil, Lapisan Tanah Atas - *Topsoil* mengacu pada lapisan permukaan tanah termasuk sebagian besar kandungan bahan organik dari profil tanah. Secara teknis, lapisan ini adalah horizon A berwarna gelap pada profil tanah.

Transpirasi - Penguapan dari daun; aliran air melalui tanaman dari tanah ke atmosfer.

Triple Superfosfat - Mengacu pada semua mutu yang mengandung P_2O_5 tersedia 40% atau lebih yang umumnya terbuat dengan acidulasi (pengasaman) dari batuan fosfat dengan asam fosfat. Superfosfat yang normal mengandung S yang cukup (gypsum), triple superfosfat tidak. Fosfor ada terutama dalam bentuk monocalcium fosfat.

Uji Jaringan - Sebuah uji lapangan cepat kolorimetri kualitatif untuk menentukan yang-belum-diasimilasikan, kandungan hara yang larut dalam getah jaringan tanaman.

Uji Tanah - Sebuah analisis kimia komposisi tanah, biasanya ditujukan untuk memperkirakan ketersediaan hara tanaman, juga termasuk pengukuran keasaman tanah atau alkalinitas dan pengukuran fisik konduktivitas listrik tanah.

Unsur Mikro - Elemen yang berada pada konsentrasi rendah, termasuk hara mikro.

Urease - Sebuah enzim yang diperlukan untuk pemecahan urea menjadi NH_3 ; umum untuk semua bahan tanaman.

Zona Deplesi - Zona tipis di sebelah akar dimana konsentrasi hara yang tidak bergerak dalam tanah menjadi lebih rendah.

Zona Retensi - Zona tanah dimana hara terkonsentrasi setelah aplikasi pupuk. Biasanya mengacu pada beberapa jenis aplikasi lajur.

Zat Terlarut - Bahan terlarut dalam pelarut untuk membentuk larutan khusus.

Jawaban

Bab 2

1. d, 2. b, 3. c, 4. a, 5. b, 6. c, 7. b, 8. d, 9. d, 10. d

Bab 3

1. b, 2. c, 3. d, 4. a, 5. c, 6. b, 7. a, 8. a, 9. d, 10. b

Bab 4

1. a, 2. b, 3. d, 4. a, 5. b, 6. c, 7. b, 8. b, 9. c, 10. c

Bab 5

1. b, 2. a, 3. c, 4. b, 5. a, 6. d, 7. a, 8. b, 9. c, 10. a

Bab 6

1. b, 2. d, 3. c, 4. a, 5. b, 6. d, 7. a, 8. c, 9. b, 10. a

Bab 7

1. c, 2. d, 3. a

Bab 8

1. d, 2. c, 3. c, 4. a, 5. b, 6. d, 7. c, 8. b, 9. d, 10. a

Bab 9

1. c, 2. b, 3. d, 4. d, 5. a, 6. a, 7. a, 8. a, 9. d

FAKTOR KONVERSI UNTUK SISTEM SATUAN A.S. (IMPERIAL) DAN SATUAN METRIK

Berikut adalah simbol/singkatan untuk hara dan istilah terkait lainnya yang sering digunakan dalam buku ini.

Untuk mengubah dari kolom 1 ke kolom 2, kalikan dengan:	Kolom 1	Kolom 2	Untuk mengubah dari kolom 2 ke kolom 1, kalikan dengan:
Panjang			
0,621	kilometer, km	mile, mi	1,609
1,094	meter, m	yard, yd	0,914
0,394	sentimeter, sm	inch, in.	2,54
Area			
2,471	hectare, ha	acre, A	0,405
Volume			
1,057	liter, L	quart (cairan), qt	0,946
Massa			
1,102	tonne ¹ (metrik, 1.000 kg)	ton (A.S. 2.000 lb)	0,9072
0,035	gram, g	ons	28,35
Hasil atau Kecepatan			
0,446	tonne/ha	ton/A	2,242
0,891	kg/ha	lb/A	1,12
0,0159	kg/ha	bu/A, butir (grain) jagung	62,7
0,0149	kg/ha	bu/A, gandum or kedelai	67,2

¹ Ejaan menggunakan "tonne" mengindikasikan ton metrik (1.000 kg). Ejaan menggunakan "ton" mengindikasikan ton A.S. (2.000 lb). Ketika digunakan sebagai satuan, tonne atau ton mungkin disingkat, seperti t/ha. Penggunaan sistem metrik mengasumsi t = tonne, sistem A.S. mengasumsi t = ton.



SIMBOL DAN SINGKATAN

Berikut adalah simbol/singkatan untuk hara dan istilah terkait yang sering digunakan dalam buku ini.

Al	Aluminium
B	Boraks
C	Karbon
Ca	Kalsium
CaCO ₃	Kalsium karbonat
CaCl ₂	Kalsium klorida
CaSO ₄ • 2H ₂ O	Kalsium sulfat
Ca(NO ₃) ₂	Kalsium nitrat
CH ₄	Metana
Cl/Cl ⁻	Klorin/Klorida
Cu	Tembaga
CuSO ₄	Tembaga sulfat
DAP	Diamonium fosfat
Fe	Besi
FeSO ₄	Ferrous sulfat, fero sufat
H ⁺	Proton atau ion hidrogen
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat
K	Kalium
KCl	Kalium klorida, <i>muriate of potash</i>
K ₂ O	Kalium karbonat
KNO ₃	Kalium nitrat
K ₂ SO ₄	Kalium sulfat
MAP	Monoamonium fosfat
MCP	Monokalsium fosfat
Mg	Magnesium
MgSO ₄	Magnesium sulfat
MgCl ₂	Magnesium klorida
Mn	Mangan
Mo	Molibdenum
N	Nitrogen
NH ₃	Amonia
NH ₄ ⁺	Amonium
(NH ₄) ₂ SO ₄	Amonium sulfat
NO ₂ ⁻	Nitrit
NO ₃ ⁻	Nitrat
N ₂	Dinitrogen
NO _x /N ₂ O	Nitrogen oksida / oksida nitrus
P	Fosfor
ppb	bagian per milyar
ppm	bagian per juta
S	Sulfur
SO ₄ ²⁻	Sulfat
TSP	Triple superfosfat
Zn	Seng
ZnSO ₄	Seng sulfat

CATATAN



DIPUBLIKASI OLEH:

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE
Southeast Asia Program
Email: seap@ipni.net
Website: <http://seap.ipni.net>

ISBN 978-967-15179-1-8

© Copyright 2017 by International Plant Nutrition Institute