

Pengelolaan Hara dan Teknologi Pemupukan Mendukung Swasembada Pangan di Indonesia

Role of Inorganic Fertilizer in Supporting Indonesian Food Self Sufficiency

Husnain, A. Kasno, S. Rochayati

Peneliti Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu, Bogor 16114. E-mail: husnain.isri@gmail.com

Diterima 6 Januari 2016; Direview 9 Februari 2016; Disetujui dimuat 14 Maret 2016

Abstrak: Peranan pupuk menjadi vital bagi perkembangan pertanian menuju swasembada pangan. Namun demikian aplikasi pupuk belum dilakukan secara efektif dan efisien dimana jenis pupuk, dosis yang diberikan, cara aplikasi dan *timing* saat pemupukan belum banyak diperhatikan. Rekomendasi pupuk juga seringkali berlaku secara umum tanpa mengindahkan status hara dalam tanah. Permasalahan di atas terlihat dari *trend* produktivitas tanaman pangan dibandingkan dengan *trend* konsumsi pupuk, dimana peningkatan konsumsi pupuk belum diikuti oleh peningkatan produktivitas tanaman pangan terutama padi dan kedelai. Pengelolaan hara makro N, P, dan K saja tanpa dibarengi dengan pengelolaan hara mikro dan benefisial seperti Silika menyebabkan stagnansi produktivitas tanaman pangan. Dalam artikel ini dibahas secara komprehensif informasi terkait unsur hara, klasifikasi pupuk, perkembangan produktivitas pangan dan konsumsi pupuk, penetapan kebutuhan pupuk hingga rekomendasi teknik aplikasi pupuk agar pemberian pupuk lebih efektif dan efisien.

Kata kunci: Pupuk / Pemupukan Berimbang / Swasembada Pangan

Abstract: Fertilizer is a major important factor for agricultural development towards food self-sufficiency. However, application of fertilizer has not been carried out effectively and efficiently. Factors affected efficiency use of fertilizer such as type of fertilizer, rate of fertilizer, application method and the timing has not received much attention. Fertilizer recommendations are also often applies in general regardless of the status of nutrients in the soil. Trend of food productivity and fertilizer consumption might explain the problem related to the fertilizer effectivity. An increase in fertilizer consumption has not been followed by an increase in productivity of food crops, especially for rice and soybeans. Application of N, P and K without consider micro nutrients and beneficial elements such as Silica cause stagnation of crop productivity at certain level and period. In this article, the information related to nutrients, classification of fertilizer, general condition of food productivity and fertilizer consumption, fertilizer recommendation and application technique are discussed.

Keywords: Fertilizer / Balance Fertilization / Food Self Sufficiency

PENDAHULUAN

Sejalan dengan pertumbuhan populasi dan permintaan (*demand*) produk pangan dan tanaman bernilai ekonomis lainnya yang terus meningkat maka penggunaan pupuk anorganik menjadi suatu keharusan. Program pembangunan pertanian telah dimulai sejak diadopsinya *Green Revolution* di akhir tahun 1970-an hingga tercapai swasembada beras di tahun 1984. Namun demikian ketidakseimbangan unsur hara dalam tanah akibat eksploitasi lahan dan penggunaan bahan kimia berlebihan (pupuk dan pestisida) menyebabkan telah terjadi degradasi lahan yang berujung kepada stagnansi produksi pangan. Sejak itu mulai digalakkan kembali konsep pemupukan

berimbang, pertanian organik (*back to nature*), dan pengelolaan pertanian terpadu.

Meskipun informasi penggunaan pupuk berimbang, status hara dan rekomendasi pupuk sudah dapat diakses sejak dua dekade lalu, fakta dilapangan menunjukkan bahwa penggunaan pupuk belum sesuai dengan rekomendasi yang disarankan. Alokasi pupuk subsidi yang jauh dibawah kebutuhan pupuk berdasarkan rekomendasi sebetulnya diharapkan hanya menjadi *trigger* bagi petani juga menjadi salah satu faktor penyebab penggunaan pupuk yang belum sesuai dengan kebutuhan tanaman. Peningkatan konsumsi pupuk belum mampu meningkatkan produktivitas tanaman pangan secara nyata. Dengan target Kementerian Pertanian hingga 2019 produksi padi, jagung dan kedelai sebesar 81.97 juta ton, 22.5 juta ton

dan 1,42 juta ton berturut-turut (Kementerian Pertanian 2015a), maka menjadi tantangan besar dalam implementasi berbagai inovasi dan teknologi semua faktor produksi termasuk teknologi pupuk dan pemupukan. Dengan demikian, informasi seputar kebutuhan unsur hara, teknik pemupukan dan berbagai informasi yang mendukung menjadi penting untuk tercapainya tujuan tersebut.

Tujuan penulisan artikel ini adalah untuk memberikan informasi secara komprehensif tentang unsur hara, klasifikasi pupuk, perkembangan produktivitas pangan dan konsumsi pupuk secara nasional dan global, penetapan kebutuhan pupuk, hasil-hasil penelitian respon pemupukan hingga rekomendasi teknik aplikasi pupuk. Dengan demikian pemberian pupuk dapat menjadi lebih efektif dan efisien untuk tercapainya pertanian ramah lingkungan dan berkelanjutan.

UNSUR HARA ESENSIAL

Untuk memahami kebutuhan hara tanaman maka disajikan secara ringkas informasi terkait unsur hara esensial dan benefisial bagi tanaman. Hingga saat ini dikenal 18 unsur hara esensial untuk tanaman terdiri atas unsur C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Zn, Cu, Cl, Co, Mo, dan Ni (Brady dan Weil 2002), Pilon-Smits *et al.* (2009) memasukkan Co dan Ni sebagai unsur hara benefisial. Salah satu cara yang dikenal untuk mengingat ke 18 unsur ini dicontohkan dalam Brady dan Weil (2002) seperti berikut:

*C.B. HOPKINS CaFe, Co.
Closed Monday Morning and Night
See You Zoon, the Mg*

Berdasarkan fungsi, kuantitas dan kebutuhannya, unsur hara esensial dikelompokkan menjadi : (1) unsur hara makro (dibutuhkan >0,1% dari berat kering tanaman) yaitu C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, dan S (Brady dan Weil 2002) dan (2) unsur hara mikro yang dibutuhkan <0,1% berat kering tanaman, yaitu Fe, Cl, Mn, B, Cu, Zn, dan Mo (Marschner 1995) dan unsur Co dan Ni (Brady dan Weil 2002). Selain itu dikenal juga unsur hara yang dikelompokkan sebagai unsur hara benefisial yaitu Al, Na, Se, dan Si (Pilon-Smits *et al.* 2009). Unsur hara benefisial termasuk Si dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stress biotik seperti kekeringan, salinitas, toksisitas, dan defisiensi unsur hara (Ma 2009). Untuk unsur hara Al, Na, dan Se telah banyak dibahas dari aspek negatif tentang toksisitasnya bagi tanaman, namun hasil

penelitian menunjukkan bahwa dalam dosis yang rendah dan tepat akan mampu meningkatkan produktivitas dan kualitas tanaman (Pilon-Smits *et al.* 2009). Unsur hara benefisial ini belum digolongkan sebagai unsur hara esensial. Namun demikian, pengelompokan unsur hara baik esensial maupun non esensial adalah kesepakatan ilmuwan yang dapat berubah seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan. Unsur yang saat ini dianggap tidak esensial dapat berubah menjadi unsur hara esensial bila ditemukan bukti ilmiah unsur tersebut menjadi esensial bagi tanaman. Berikut secara lengkap ringkasan peranan unsur hara dalam mendukung pertumbuhan tanaman dalam Tabel 1.

KLASIFIKASI PUPUK ANORGANIK

Pemahaman tentang unsur hara esensial bagi tanaman menjadi dasar pembuatan pupuk. Thompson (1975) menyatakan bahwa pupuk merupakan sumber hara tanaman yang ditambahkan ke dalam tanah untuk meningkatkan kesuburan tanah. Dalam UU No.12/1992 tentang Sistem Budidaya Tanaman disebutkan bahwa pupuk adalah bahan kimia atau organisme yang berperan dalam menyediakan unsur hara bagi tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung. Lebih lanjut dalam Permentan No. 43/2011 tentang Syarat dan Tata Cara Pendaftaran Pupuk Anorganik disebutkan bahwa pupuk anorganik adalah hasil proses rekayasa secara kimia, fisik dan atau biologis, dan merupakan hasil industri atau pabrik pembuat pupuk. Definisi pupuk dari berbagai sumber tersebut pada prinsipnya memiliki pengertian substantif yang sama.

Banyak jenis-jenis pupuk yang dapat digunakan sebagai sumber unsur hara baik untuk tanaman pangan maupun tanaman perkebunan atau tahunan. Secara umum bermacam jenis pupuk tersebut dapat diklasifikasikan atas berbagai kelompok berdasarkan bentuk, sumber bahan baku, konsentrasi, jumlah hara serta kecepatan tersedia seperti terdapat dalam Gambar 1. Berdasarkan kandungan haranya banyak sekali jenis-jenis pupuk yang sudah *establish* dan beredar di pasaran. Di Indonesia pupuk yang umum digunakan adalah urea, TSP, SP-36, KCl, NPK majemuk dengan berbagai kombinasi, pupuk kieserit dan pupuk boron. Pupuk silika juga sudah mulai muncul dipasaran. Berikut jenis-jenis pupuk dengan berbagai variasi kandungan unsur hara yang telah tersedia di pasar lokal di Indonesia maupun pasar internasional disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 1 Peranan unsur hara esensial* dan benefisial** bagi tanaman

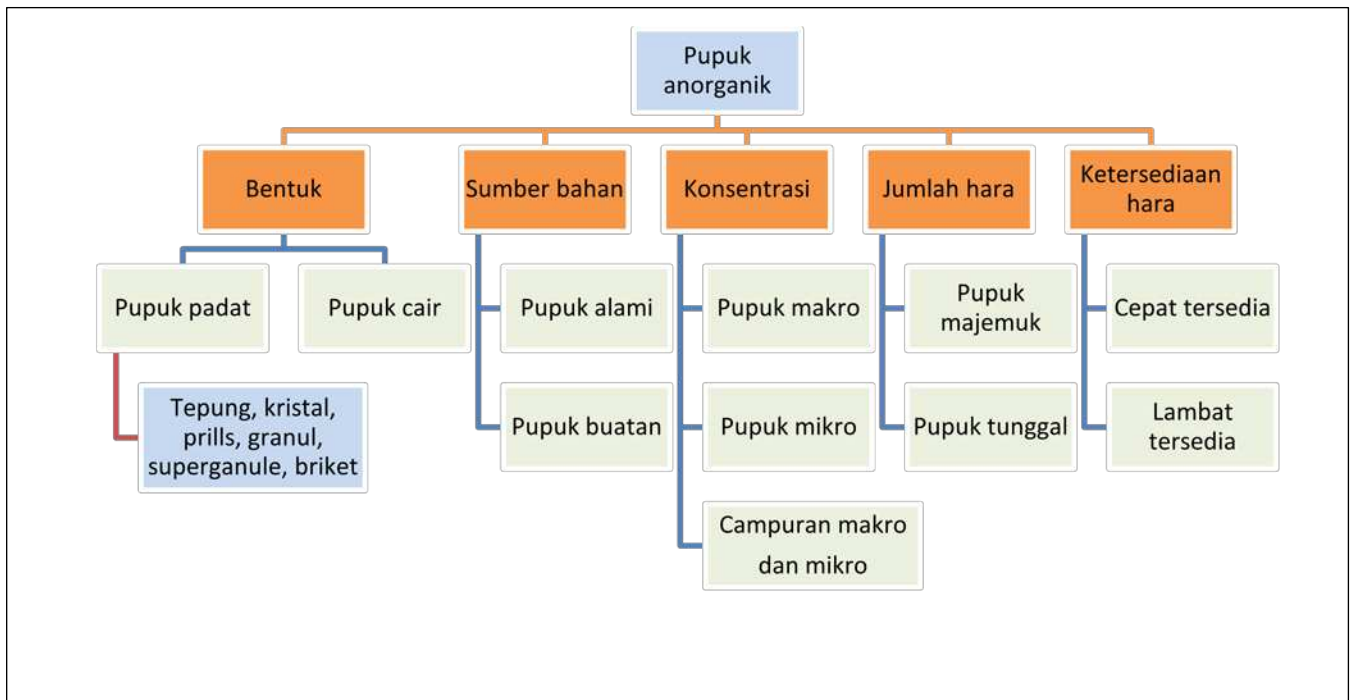
Table 1. The role of essential and beneficial nutrients for plant

No	Group	Unsur hara	Bentuk kimia dalam tanah	Peranan dalam pertumbuhan tanaman
1	Esensial	Karbon (C)	CO ₂	Penyusun karbohidrat, protein, lemak, asam nukleat, dan senyawa organik
2		Hidrogen (H)	H ₂ O	Penyusun karbohidrat, protein, lemak, asam nukleat, dan senyawa organik
3		Oksigen (O)	O ₂ , H ₂ O	Penyusun karbohidrat, protein, lemak, asam nukleat, dan senyawa organik
4		Nitrogen (N)	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	Penyusun protein dan asam amino
5		Fosfor (P)	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	Penyusun asam nukleat, ATP, ADP
6		Kalium (K)	K ⁺	Sebagai katalis dalam transport ion, pembentuk enzim
7		Kalsium (Ca)	Ca ₂ ⁺	Sebagai komponen dinding sel
8		Magnesium (Mg)	Mg ₂ ⁺	Bagian dari klorofil
9		Sulfur (S)	SO ₄ ²⁻	Pembentuk asam amino, protein
10		Besi (Fe)	Fe ²⁺	Berperan dalam sintesis klorofil, reaksi oksidasi-reduksi dan fiksasi N
11		Tembaga (Cu)	Cu ²⁺	Komponen enzim, fotosintesis, metabolisme karbohidrat dan protein dan fiksasi N
12		Mangan (Mn)	Mn ²⁺	Aktivator enzim, fotosintesis, metabolisme dan asimilasi N
13		Seng (Zn)	Zn ²⁺	Aktivator enzim, dan aktivator pematangan sel
14		Boron (B)	HBO ₃	Komponen dinding sel
15		Molibdenum (Mo)	MoO ₄ ²⁻	Berperan dalam fiksasi N
16		Klor (Cl)	Cl ⁻	Berperan dalam reaksi fotosintesis
17		Nikel (Ni)	Ni ²⁺	Berperan untuk enzim urease, pengisian padi, serapan Fe
18		Kobalt (Co)	Co ²⁺	Fiksasi N, ditemukan dalam vitamin B12
19	Benefisial	Silikon (Si)	Si(OH) ₄	Menahan serangan patogen dan herbivora, resisten terhadap abiotik stress, komponen dinding sel, mencegah lodging
20		Aluminium (Al)	Al ³⁺ , Al(OH) ²⁺	Menahan serangan herbivora, mencegah keracunan Fe, mempercepat P uptake
21		Selenium (Se)	SeO ₄ ²⁻	Menahan patogen dan herbivora, mencegah keracunan P, dan sebagai antiosidan
22		Sodium (Na)	Na ⁺	Esensial untuk metabolisme tanaman C4/CAM, osmolit dan alternatif kofaktor menggantikan K

*Marschner (1995), Brady and Weil (2002), ** Pilon-Smits *et al.* (2009)

Selain pupuk anorganik dalam bentuk padat dikenal juga bentuk cair yang diberikan langsung ke daun yang disebut sebagai pupuk daun (foliar). Pupuk foliar bukan bertujuan untuk menggantikan/substitusi kekurangan hara tanaman di tanah tetapi terutama untuk memberikan keuntungan tambahan bagi tanaman terutama untuk mengkoreksi kekurangan hara mikro. Saat ini, pupuk foliar banyak yang ditambahkan dengan hormon tumbuh, enzim alami tanaman, mikroorganisme dan bahan lain sebagai pelengkap komposisinya.

Pupuk foliar mulai dikembangkan pada tahun 1950-an sejalan dengan penemuan radio isotop, dimana diketahui unsur hara diserap tanaman melalui daun dan ditranslokasikan ke setiap bagian tanaman. Pupuk foliar kurang efektif untuk unsur hara yang *mobile* seperti Ca dan B, dan juga tidak efektif untuk unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah besar seperti N, P, dan K. Banyak faktor yang mempengaruhi efektifitas pupuk foliar.



Gambar 1. Klasifikasi pupuk anorganik sebagai sumber unsur hara (dari berbagai sumber)
 Figure 1. Classification of anorganic nutrient as a source of nutrient (various sources)

Tabel 2. Jenis pupuk anorganik yang umum digunakan dan kandungan haranya
 Table 2. Common type of inorganic fertilizer use and its nutrient content

Pupuk makro		Pupuk mikro	
Jenis dan nama pupuk	Rumus kimia	Jenis dan nama pupuk	Rumus kimia
Urea	CO(NH ₂) ₂	Borat (<i>Borax</i>)	Na ₂ B ₂ O ₇ · 10 H ₂ O
Amonium nitrat	NH ₄ NO ₃	Natrium pentaborat (<i>Sodiumpentaborax</i>)	Na ₂ B ₁₀ O ₁₆ · H ₂ O
Kalium nitrat	KNO ₃	Tembaga sulfat (<i>Copper sulphate</i>)	CuSO ₄ · 5 H ₂ O
Monoamonium fosfat	NH ₄ H ₂ PO ₄	Besi sulfat (<i>Ferrous sulphate</i>)	FeSO ₄ · 7 H ₂ O
Diamonium fosfat	(NH ₄) ₂ HPO ₄	Besi khelat (<i>Iron chelate</i>)	NaFeEDDHA
Amonium sulfat	(NH ₄) ₂ SO ₄	Mangan sulfat (<i>Manganese sulphate</i>)	MnSO ₄ · 3H ₂ O
Natrium nitrat	NaNO ₃	Mangan oksida (<i>Manganese oxide</i>)	MnO
Triple superfosfat	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O	Natrium molibdat (<i>Sodium molybdate</i>)	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O
Batuan fosfat	Ca ₃ (PO ₄) ₂ · Ca _x	Ammoniummolibdat (<i>Ammoniummolybdate</i>)	(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O
Single super phosphate	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O	Seng sulfat (<i>Zinc sulphate</i>)	ZnSO ₄ · H ₂ O
Kalium klorida	KCl	Seng oksida (<i>Zinc oxide</i>)	ZnO
Kalium sulfat	K ₂ SO ₄	Seng khelat (<i>Zinc chelate</i>)	Na ₂ ZnEDTA

Sumber: Brady dan Weil (2002)

Hingga saat ini belum banyak diketahui tentang mekanisme, transportasi dan hal lainnya tentang pupuk foliar. Serapan hara pupuk foliar pada permukaan daun ditentukan oleh kondisi fisik tanaman, karakteristik permukaan daun, organ-organ daun, kondisi pertumbuhan tanaman, dan karakteristik pupuk foliar.

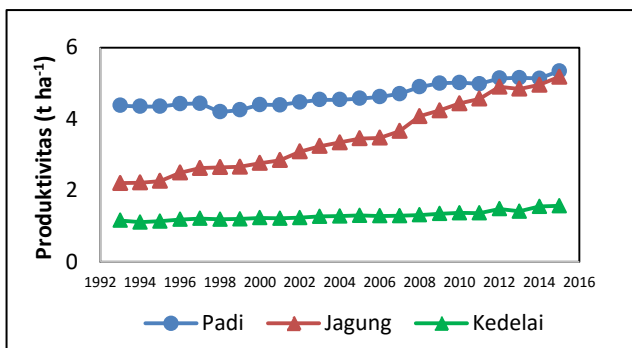
Permukaan tanaman (epikutikular) umumnya memiliki selimut (*coating*) yang hidrofobik. Sehingga bentuk organ dalam tanaman dan komposisi kimia getah tanaman akan menjadi kontrol polaritas dan hidrofobisitas setiap permukaan tanaman (Fernandez *et al.* 2013). Namun hingga saat ini belum banyak

dilaporkan bahwa pupuk foliar ini efektif untuk tanaman (Pettinelli 2013). Pilihan untuk menggunakan pupuk foliar dapat didasarkan atas perhitungan ekonomi untuk hortikultura yang bernilai jual tinggi (Wojcik 2004).

TREND PRODUKTIVITAS TANAMAN PANGAN DAN KONSUMSI PUPUK

Sebagaimana telah disebutkan di awal bahwa untuk mengetahui efektifitas pupuk dalam meningkatkan produktivitas tanaman perlu diketahui *trend* produktivitas dan konsumsi pupuk.

Menurut data statistik (BPS 2016), peningkatan produktivitas padi dan kedelai sejak tahun 1993 hingga 2015 mengalami kenaikan yang relatif lambat yaitu sebesar 22% untuk padi dan 41.1% untuk kedelai, dibandingkan dengan jagung yang cukup tinggi mencapai 133.7% (Gambar 2). Data *trend* produktivitas padi pada Gambar 2, menunjukkan terjadi stagnansi produktivitas padi yang kemungkinan disebabkan salah satunya oleh degradasi kesuburan tanah. Dengan nilai produktivitas yang relatif tidak mengalami kenaikan berarti, maka berbagai upaya juga dilakukan untuk mencapai target peningkatan produksi seperti meningkatkan indeks pertanaman (IP) melalui perbaikan saluran irigasi, penggunaan alsintan dan input produksi termasuk pupuk dan benih. Hasilnya saat ini telah mencapai surplus beras hingga 10,25 juta ton (BPS 2015; Kementerian Pertanian 2015b).



Sumber: BPS (2016)

Gambar 2. Produktivitas padi, jagung dan kedelai di Indonesia dari tahun 1993-2015

Figure 2. Production of rice, maize and soybean in Indonesia from 1993 to 2015

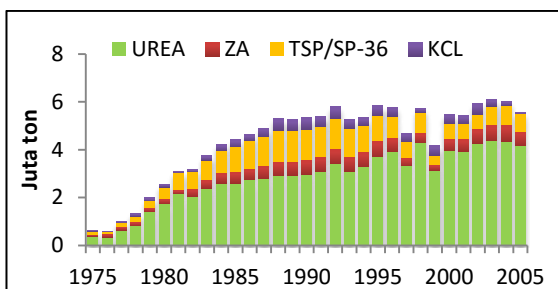
Berbeda dengan padi dan kedelai, perkembangan produktivitas tanaman jagung menunjukkan peningkatan produktivitas yang konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi budidaya tanaman jagung di lahan kering masam dan non masam mampu menggenjot kenaikan produktivitas jagung secara signifikan. Saat ini Kementerian Pertanian bahkan telah mengeksport jagung ke beberapa negara (Kementerian Pertanian 2015b).

Pada saat produktivitas tanaman sulit ditingkatkan lagi seperti yang terjadi pada tanaman padi, maka efisiensi sarana produksi seperti pupuk perlu ditingkatkan agar sistem usahatani tersebut dapat meningkatkan kesejahteraan petani dan berkelanjutan menuju pertanian ramah lingkungan.

Trend produktivitas tiga komoditas pangan yang disajikan di atas perlu disandingkan dengan konsumsi penggunaan pupuk. Sebagai salah satu faktor produksi, pupuk memberikan kontribusi 15-30% untuk biaya usaha tani padi (Balai Penelitian Tanah 2012) dan sekitar 22% menurut Susila (2010). Data konsumsi pupuk dari tahun 1975-2005 dan 2007-2014 dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

Sejak era revolusi hijau di tahun 1970-an, penggunaan pupuk didominasi oleh pupuk urea, kemudian tahun 1990-an mulai banyak digunakan pupuk TSP/SP-36, KCl dan ZA (Gambar 3). Pada tahun 2007 hingga sekarang sudah mulai menggunakan pupuk majemuk NPK dan pupuk organik (Gambar 4). Penggunaan pupuk TSP/SP-36 pada tahun 1990-an turut mendorong peningkatan produktivitas tanaman jagung, diikuti dengan kebijakan penggunaan pupuk majemuk NPK dan pupuk organik. Penggunaan pupuk terus meningkat dari tahun ke tahun sejalan dengan peningkatan produktivitas tanaman pangan terutama untuk tanaman jagung dan juga tanaman padi di awal tahun 1970-an. Hal ini juga menjadi indikasi bahwa kontribusi pupuk sangat signifikan dalam meningkatkan produktivitas tanaman. Saat ini pupuk yang sudah diaplikasikan oleh petani terbatas untuk pupuk makro N, P dan K. Pupuk mikro dan unsur hara benefisial seperti Si belum umum digunakan. Sementara aplikasi pupuk makro sudah sangat intensif sehingga perlu dicari titik ungit peningkatan produktivitas salah satunya dengan aplikasi pupuk mikro, benefisial dan pemanfaatan amelioran tanah terutama pada tanah-tanah di lahan sub optimal yang memiliki kesuburan tanah yang rendah. Kebutuhan pupuk yang terus meningkat harus dibarengi dengan dukungan inovasi teknologi seperti peningkatan

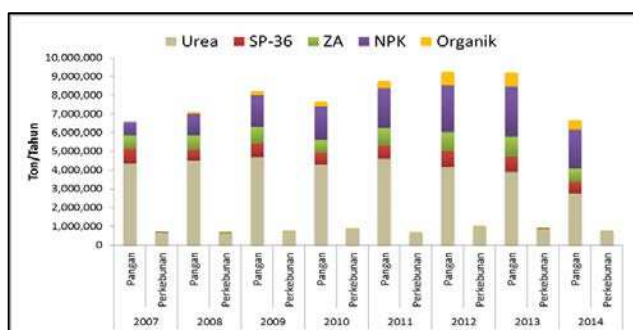
efisiensi pemupukan. Perbaikan rekomendasi pupuk untuk varietas-varietas tanaman baru dengan potensi hasil tinggi yang menguras hara lebih banyak dibandingkan varietas lokal.



Sumber: APPI (2016)

Gambar 3. Konsumsi pupuk untuk sektor pertanian di Indonesia periode 1975 hingga 2005

Figure 3. Consumption of fertilizer for agriculture in Indonesia for the period 1975-2005



Sumber: APPI (2016)

Gambar 4. Konsumsi pupuk untuk sektor pertanian di Indonesia periode 2007-2014

Figure 4. Consumption of fertilizer for agriculture in Indonesia for the period 2007-2014

Secara global, perbandingan penggunaan pupuk di negara berkembang dan negara maju menunjukkan *gap* yang cukup besar (FAO 1997). Konsumsi pupuk di negara berkembang rata-rata kurang dari setengahnya negara maju (Tabel 3). Untuk kasus di Indonesia hal ini disebabkan oleh adopsi teknologi pemupukan petani di lahan sawah jauh lebih baik dibandingkan petani lahan kering, sehingga penggunaan pupuk rata-rata secara nasional masih lebih rendah dari dosis rekomendasi.

KEBUTUHAN PUPUK ANORGANIK

Pupuk dapat memberikan manfaat yang maksimal bila diketahui dengan tepat kebutuhan hara bagi tanaman, hara yang tersedia di tanah dan target hasil yang diharapkan.

Tabel 3. Perbandingan konsumsi pupuk (total N+P₂O₅+K₂O) dalam ton pada periode 1969-1991 di negara berkembang dan negara maju

Table 3. Comparison of fertilizer consumption (total N + P₂O₅ + K₂O) in tonnes in the period from 1969 to 1991 in developing countries and developed countries

Regional	1969/1971	1979/1981	1989/1991
Negara berkembang	14	28	36
Negara maju	61	69	70
Global	35	46	46

Untuk menjawab pertanyaan tersebut maka konsep pemupukan berimbang adalah salah satu kunci utama untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman sekaligus untuk menjaga keberlanjutan produksi tanaman. Keseimbangan hara merupakan konsep yang dapat digunakan sebagai dasar untuk menyusun kebutuhan hara tanaman. Keseimbangan hara tanaman dapat dihitung dari selisih antara hara yang ditambahkan dan hara yang hilang keluar dari lingkungan pertumbuhan tanaman. Hara yang ditambahkan dapat berasal dari pupuk, bahan organik, bahan amelioran, air irigasi, dan air hujan. Hara yang hilang dari lingkungan pertumbuhan tanaman antara lain terangkut hasil panen dan sisa hasil panen yang tidak dikembalikan, hilang menguap, tercuci, dan ikut terbawa aliran permukaan.

Hukum Minimum Liebig adalah kunci pengelolaan unsur hara dalam tanah dan tanaman. Kekurangan unsur hara tertentu merupakan faktor pembatas pertumbuhan tanaman yang tidak bisa digantikan oleh unsur hara lainnya (van der Ploeg *et al.* 1999). Terdapat beberapa cara untuk meningkatkan efisiensi pemupukan seperti tepat waktu, jumlah, kualitas dan rasio unsur hara satu dengan lainnya (Krauss 2004). Aplikasi pupuk yang tepat mesti memenuhi prinsip 4 T yaitu: tepat sumber pupuk, tepat jumlah, tepat lokasi dan waktu pemberian untuk disesuaikan dengan kebutuhan hara per periode pertumbuhan tanaman (IPNI 2012).

Paradigma baru pemupukan berimbang adalah kombinasi pupuk anorganik dan organik. Berbagai hasil penelitian pemupukan menunjukkan bahwa pemupukan berimbang menghasilkan produksi yang optimum. Teknologi pemupukan seperti penggunaan pupuk lepas lambat terkontrol serta pemanfaatan enzim urease dan inhibitor nitrifikasi dapat mengatasi permasalahan waktu dan ketersediaan hara N yang masih rendah efisiensinya. Aplikasi pupuk yang tepat juga sangat ditentukan oleh lokasi, jenis tanaman, cuaca, dan jenis

sistem usaha tani. Untuk mendapatkan rekomendasi pupuk yang tepat dan akurat dibutuhkan biaya, diantaranya untuk analisis uji tanah di laboratorium. Namun beberapa metoda sederhana seperti test kit dan penggunaan *software decision support system* (DSS) sangat membantu. Cara menetapkan kebutuhan pupuk dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti terdapat dalam Brady dan Weil (2002) sebagai berikut: 1) gejala tanaman dan observasi lapang; 2) analisis jaringan tanaman dan 3) analisis tanah, dilakukan dengan mengambil contoh tanah, menganalisis dan kemudian melakukan interpretasi hasil analisis untuk menetapkan kebutuhan pupuk.

Kebutuhan hara N untuk tanaman padi juga telah lazim ditetapkan menggunakan bagan warna daun (*Leaf Color Chart*, LCC) yang memberikan rekomendasi pupuk berdasarkan tingkat produktivitas padi sawah. Sebagai contoh kebutuhan hara N tanaman padi sawah ditentukan berdasarkan tingkat produktivitas padi sawah. Pada tingkat produktivitas rendah (< 5 t ha⁻¹) dibutuhkan 200 kg urea ha⁻¹, produktivitas sedang (5-6 t ha⁻¹) dibutuhkan 250 – 300 kg urea ha⁻¹, produktivitas tinggi (> 6 t ha⁻¹) dibutuhkan 300-400 kg urea ha⁻¹ (Permentan 40/2007).

Kebutuhan hara tanaman terutama padi telah banyak dipelajari terutama hara N, P, dan K melalui kegiatan uji tanah meliputi penjajagan hara, korelasi dan penetapan status hara. Pengekstrak HCl 25% merupakan pengekstrak yang mempunyai korelasi terbaik dengan hasil tanaman padi sawah (Nursyamsi *et al.* 1993). Berdasarkan hasil-hasil penelitian kalibrasi P dengan pengekstrak HCl 25% diketahui bahwa status P rendah mengandung <20 mg P₂O₅ 100 g⁻¹, sedang: 20-40 mg P₂O₅ 100 g⁻¹, dan tinggi: >40 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ (Moersidi *et al.* 1991). Sedangkan klasifikasi hara K dengan pengekstrak yang sama untuk padi sawah, yaitu rendah: <10 mg K₂O 100 g⁻¹, sedang: 10 - 20 mg K₂O 100 g⁻¹, dan tinggi >20 mg K₂O 100 g⁻¹ (Adiningsih *et al.*

1989). Sehingga rekomendasi pemupukan P pada masing-masing status P rendah, sedang dan tinggi adalah 100, 75 dan 50 kg SP-36/ha, dan pemupukan K adalah 100, 50, dan 50 kg KCl ha⁻¹, berturut-turut. Tabel 4 menunjukkan kebutuhan pupuk anorganik tanaman padi.

Namun demikian, hasil penelitian uji tanah perlu di *update* untuk verifikasi perkembangan IPTEK perbenihan. Varietas baru dengan potensi hasil tinggi membutuhkan unsur hara yang lebih banyak dibandingkan varietas lokal. Penelitian kalibrasi hara P dan K lahan sawah bermineral liat 1:1 untuk padi varietas unggul tipe baru telah dilaksanakan di Lampung Utara dan Lampung Tengah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa takaran optimum pupuk SP-36 untuk lahan sawah berstatus P tinggi, sedang dan rendah adalah 100, 130, dan 175 kg ha⁻¹. Takaran optimum pupuk KCl pada lahan sawah berstatus K tinggi dan rendah adalah 80 dan 155 kg ha⁻¹ (Kasno *et al.* 2006). Rekomendasi pemupukan padi spesifik lokasi per kecamatan se Indonesia (Permentan No. 40/Permentan/OT.140/4/2007) telah dibuat berdasarkan tingkat produktivitas padi untuk pemupukan Urea, status hara P dan K skala 1:250.000 dan 1:50.000 untuk pemupukan SP-36 dan KCl. Harga pupuk KCl dan MOP di tingkat petani sangat mahal, selain itu sulit diperoleh di lapangan. Oleh karena itu ke depan perlu didorong penggunaan pupuk NPK majemuk.

Rekomendasi pemupukan juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Mistcherlich untuk pupuk N, P dan K. Setyorini *et al.* (2003) menemukan persamaan Mistcherlich hara P dengan pengekstrak HCl 25% untuk tanaman padi sawah adalah $\log(A - Y) = \log A - 0,0041b - 0,038x$, dimana A = produksi maksimum (100%), Y = % hasil padi yang diharapkan, b = hasil analisis P terekstrak HCl 25% (mg P₂O₅ 100 g⁻¹), x = jumlah pupuk yang ditambahkan.

Tabel 4. Kebutuhan pupuk anorganik tanaman padi

Table 4. *Inorganic fertilizer requirement for rice plant*

Kebutuhan pupuk	Status hara P*		
	Rendah	Sedang	Tinggi
Kandungan P ₂ O ₅	<20 mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	20-40 P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	>40 P ₂ O ₅ 100g ⁻¹
Dosis rekomendasi	100 kg ha ⁻¹	75 kg ha ⁻¹	50 kg ha ⁻¹
	Status hara K**		
	Rendah	Sedang	Tinggi
Kandungan K ₂ O	<10 mg K ₂ O 100g ⁻¹	10-20 mg K ₂ O 100g ⁻¹	>20 mg K ₂ O 100g ⁻¹
Dosis rekomendasi	100 kg ha ⁻¹	50 kg ha ⁻¹	50 kg ha ⁻¹

*Moersidi *et al.* (1991), **Adiningsih *et al.* (1989)

Selain kebutuhan unsur hara makro N, P dan K, ke depan perlu diperhatikan kebutuhan unsur hara mikro dan benefisial. Hasil-hasil survei tanah yang menunjukkan variasi kandungan unsur hara makro sekunder dan unsur mikro perlu dijadikan acuan untuk melengkapi rekomendasi pemupukan.

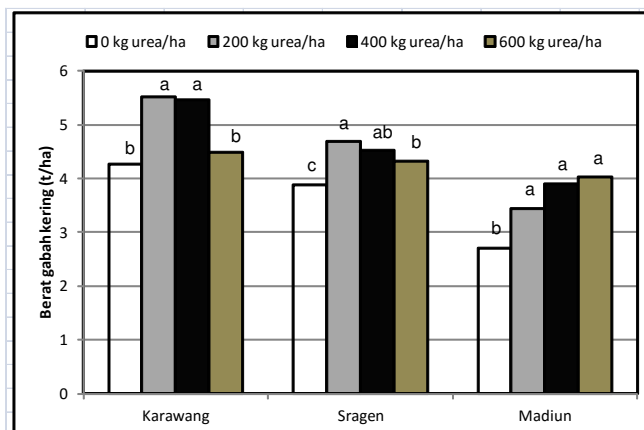
Ketersediaan unsur hara makro sekunder (Ca, Mg, S) dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tingkat kemasaman tanah (pH). Kalsium umumnya terakumulasi di jaringan kayu dan diserap oleh akar-akar yang masih muda (Brady dan Weil 2002). Kebutuhan Ca umumnya dipenuhi dari pemberian amelioran kapur yang juga mengandung Ca dan Mg seperti dolomit. Unsur hara S sangat dinamis dalam tanah sehingga tidak mudah menetapkan status S tanah dan rekomendasi aplikasi pupuk S. Menurut Al-Jabri (2006 dalam Balai Penelitian Tanah 2012) tanah dengan kadar S < 10 ppm mutlak harus dilakukan pemupukan S. Demikian juga dengan kebutuhan unsur mikro seperti kebutuhan Boron (B) untuk tanaman kacang tanah dimana aplikasi pupuk Boron dapat meningkatkan kualitas kacang tanah (Putrisiwi 2015).

Kebutuhan silika tanaman padi sebagai akumulator Si sangat tinggi melebihi kebutuhan N. Unsur hara Si yang terangkut tanaman padi saat panen mencapai 2 kali lipat N yaitu berkisar 230-470 kg Si ha⁻¹, sedangkan N, P dan K berkisar 75-120 kg N ha⁻¹, 20-25 kg P ha⁻¹ dan 23-257 kg K ha⁻¹. Pertanaman padi yang intensif di lahan sawah menyebabkan Si terkuras dan tanaman mengalami defisiensi (Husnain 2009).

HASIL PENELITIAN RESPON PEMUPUKAN

Penelitian respon pemupukan telah banyak dilakukan pada berbagai jenis tanah di Indonesia. Berikut beberapa hasil penelitian respon pemupukan terhadap hasil tanaman pangan diantaranya padi, jagung, kedelai dan kacang hijau.

Pemupukan hara N pada tanah Inceptisol Karawang dan Sragen nyata meningkatkan berat gabah kering (Hartatik dan Adiningsih 2003). Berat gabah kering tertinggi dicapai pada pemberian 200 kg Urea ha⁻¹, sedangkan pemberian 600 kg urea ha⁻¹ nyata menurunkan berat gabah kering (Gambar 5). Pada tanah Vertisol Madiun, pemberian 200 kg urea ha⁻¹ nyata meningkatkan berat gabah kering, sedangkan penambahan 400 dan 600 kg urea ha⁻¹ tidak nyata meningkatkan berat gabah kering dibandingkan pemberian 200 kg urea ha⁻¹.



Sumber: Hartatik dan Adiningsih (2003)

Gambar 5. Peningkatan hasil padi tanah sawah di Karawang, Sragen dan Madiun sebagai dampak penambahan pupuk N

Figure 5. The increase in rice yield in Karawang, Sragen dan Madiun as a result of N fertilization

Pemupukan berimbang yang disertai dengan pemberian dolomit telah dilakukan di Sei Gemuruh, Pesisir Selatan, Sumbar pada tanah dengan kesuburan alami rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemupukan NPK dengan N dan K diberikan 3 kali nyata meningkatkan berat gabah kering, penambahan bahan organik dan dolomit juga meningkatkan berat gabah kering (Tabel 5). Namun peningkatan hasil dibandingkan dengan tambahan biaya untuk bahan organik dan dolomit perlu dipertimbangkan.

Tabel 5. Berat jerami kering dan berat gabah kering lahan sawah bukaan baru pada perlakuan pengelolaan hara

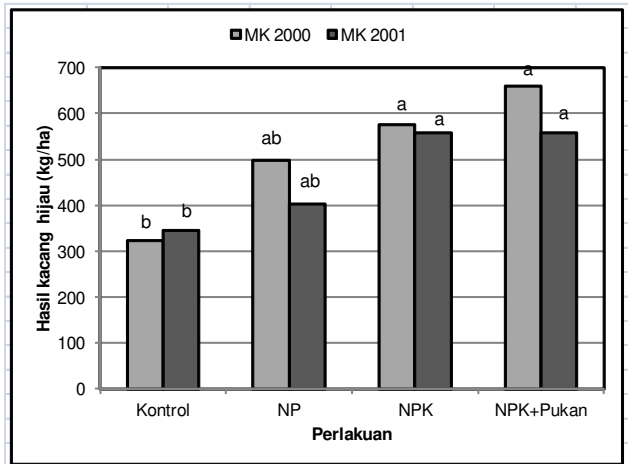
Table 5. Dry weight of straw dan unhusked rice under nutrient management treatment at newly opened rice field

Perlakuan	Berat jerami segar	Berat jerami kering	Berat gabah kering
 t ha ⁻¹		
Kontrol	4,30 c	2,60 d	1,50 e
NPK	6,03 ab	3,50 bc	2,43 cd
NPK (N dan K 3x)	6,62 a	4,10 ab	3,09 ab
NPK+2 t kompos	5,74 ab	3,33 bcd	2,51 bcd
NPK+2 t kompos+ 2 t dolomit	5,97 ab	4,14 ab	3,11 ab
NPK+2 t kompos+ 2 t dolomit (N dan K 3 x)	5,29 b	4,65 a	3,41 a

Sumber: Sultristiyonubowo et al. (2009)

Percobaan pemupukan tanaman kacang hijau pada sawah tadah hujan dengan tanah *Aeric Endoaquept* telah dilakukan di Jakenan, Pati pada musim kemarau

(MK) 2000 dan 2001 oleh Wihardjaka dan Mulyono (2003). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan pupuk NPK nyata meningkatkan hasil kacang hijau, pemberian 5 t pupuk kandang ha^{-1} juga meningkatkan hasil kacang hijau meskipun secara statistik tidak signifikan (Gambar 6).



Sumber: Wihardjaka dan Mulyono (2003)

Gambar 6. Produktivitas kacang hijau pada tanah sawah tadah hujan

Figure 6. Productivity of green bean cultivated on a rainfed

Keseimbangan hara N dan K pada lahan sawah bukaan baru telah dipelajari di Desa Tanjung Buka, Kabupaten Bulungan, Kalimantan Timur pada tahun 2011 (Sukristiyonubowo *et al.* 2012). Hasil penelitian menunjukkan bahwa keseimbangan hara N surplus antara 39,03 - 71,62 kg ha^{-1} musim⁻¹ dan dosis pupuk urea disarankan 150 kg urea ha^{-1} ditambah kompos 3 t ha^{-1} musim⁻¹. Keseimbangan hara K minus 2,50 - 52,67 kg K ha^{-1} musim⁻¹ dengan pemberian 100 kg KCl dan 3 t kompos ha^{-1} musim⁻¹. Dosis pupuk KCl yang disarankan 200 kg KCl ha^{-1} , atau 150 kg KCl ha^{-1} ditambah 3 t kompos ha^{-1} musim⁻¹. Keseimbangan hara N pada tanah sawah intensifikasi di Lampung surplus 3 - 68 kg ha^{-1} , sedangkan keseimbangan hara P dan K minus. Hara P minus 6 - 19 kg P ha^{-1} dan hara K minus 5 - 68 kg K ha^{-1} (Kasno 2010). Pada tanah bermineral liat campuran di Bakung, Cirebon, keseimbangan hara N surplus antara 12,53 - 56,49 kg ha^{-1} , kesimbangan hara P berkisar minus 10,51 - 22,51 kg ha^{-1} , dan kesimbangan hara K minus berkisar antara 71,68 - 22,78 kg ha^{-1} (Suriadikarta dan Kasno 2009). Dengan demikian dosis pupuk P dan K perlu menjadi perhatian. Husnain *et al.* (2010) juga melaporkan hasil studi neraca hara pada tanah sawah di DAS Citarum untuk hara

N, P, Ca, Mg, Na, Si dan K berturut-turut 5, 8, 387, 65, 281, -198 dan -21 kg ha^{-1} . Dengan demikian neraca hara pada tanaman padi yang minus seperti K dan Si perlu mendapat perhatian.

Untuk komoditas jagung, hasil penelitian menunjukkan respon yang baik terhadap pemupukan dan amelioran seperti kapur, pupuk kandang dan *rock phosphate*. Berikut hasil penelitian efisiensi pemupukan untuk tanaman jagung di lahan kering masam di Taman Bogo, Lampung disajikan pada Tabel 6. Aplikasi kapur, bahan organik dan *rock phosphate* di lahan masam mampu meningkatkan produktivitas tanaman jagung lebih tinggi dibandingkan hanya memberikan pupuk NPK saja.

Tabel 6. Hasil jagung pada lahan kering masam Taman Bogo, Lampung

Table 6. Yield of maize cultivated on acid upland soil in Taman Bogo, Lampung

Perlakuan	Musim	Musim
	Tanam 1	Tanam 2
Dosis petani	3.00 c	2.93 c
DR Petrokimia	4.50 ab	3.55 b
DRuji tanah+Kapur+Pukan	4.00 bc	3.17 b
DRujitanah+Kapur+Pukan+Rock Phosphate	5.33 a	5.60 a

Sumber: Balittanah (2012)

Keterangan: Dosis petani (30 $\text{kg Urea}+360$ kg NPK), Dosis rekomendasi petrokimia (250 $\text{NPK}+500$ $\text{kg pupuk organik granul}$), Dosis rekomendasi uji tanah (200 kg NPK dan 1 kali aplikasi awal MT 1: $\text{RP } 800$ $\text{kg} + \text{Kapur } 2$ t ha^{-1} dan pukan 2 t ha^{-1}).

Hasil penelitian respon pemupukan hara makro sekunder, mikro dan benefisial masih sangat terbatas. Hasil pengujian pupuk sulfur menghasilkan rekomendasi terbaik dosis pupuk S adalah 30 kg ha^{-1} yang dikombinasikan dengan pupuk N, P dan K sesuai dosis rekomendasi uji tanah dan mampu meningkatkan hasil gabah padi dan bawang merah (Husnain *et al.* 2014). Putrisiwi (2015) melaporkan bahwa kualitas tanaman kacang tanah terutama diameter dan berat biji meningkat hingga 10% dengan pemberian pupuk boron dengan dosis 0,5 kg ha^{-1} .

Aplikasi pupuk silika untuk tanaman padi juga menunjukkan peningkatan produktivitas padi dan kualitas gabah. Hasil pengujian di Lampung, Maros dan Pariaman menunjukkan bahwa pemberian pupuk silika dengan dosis 160-200 kg ha^{-1} mampu meningkatkan hasil padi. Sebagai sumber alternatif hara silika juga dapat diberikan kompos jerami dan abu

sekam yang mengandung Si yang tinggi sehingga dapat menggantikan kehilangan hara Si dalam tanah. Kompos jerami dan abu sekam kaya akan unsur-unsur hara mikro, benefisial serta enzim dan hormon tumbuh yang memiliki nilai tambah untuk perbaikan kesuburan tanah (Husnain *et al.* 2012). Hasil penelitian Amanah (2016), yang menguji kualitas batang padi (*stem strength*) dalam hubungannya dengan serangan penyakit blas menunjukkan bahwa ketahanan batang tanaman padi tanpa pupuk Si adalah 0.83 Newton sedangkan dengan pupuk Si menjadi 1.35 Newton. Batang yang menjadi kuat menyebabkan serangan penyakit *blast* menurun meskipun tanaman telah terinfeksi di awal. Selain itu pemberian silika mampu meningkatkan berat biomas basah, biomas kering, dan jumlah bobot 1000 butir tanaman padi.

Terkait dengan stagnansi produktivitas padi, Savant *et al.* (1997 a, b) menemukan bahwa stagnansi produktivitas padi pada tanah dengan pelapukan tinggi seperti di Afrika, Asia dan Amerika Latin menyebabkan penurunan Si tersedia tanah karena terjadi proses desilikasi. Kondisi ini diperparah dengan

kebiasaan petani yang umumnya tidak mengembalikan Si yang diambil tanaman saat panen. Kondisi ini terjadi hampir di semua daerah sentra tanaman padi.

Respon tanaman terhadap pemupukan memberikan indikasi kondisi tanah dan pengelolaan hara. Hasil-hasil penelitian di atas menunjukkan variasi dimana kelebihan pemberian pupuk tidak berbanding lurus dengan peningkatan hasil bahkan dapat terjadi penurunan hasil. Demikian juga dosis yang belum memenuhi kebutuhan tanaman perlu diperhatikan karena hasil yang diperoleh tidak optimal. Pemberian pupuk mikro dan benefisial serta aplikasi amelioran termasuk bahan organik dan amelioran lainnya pada lahan sub optimal seperti di lahan kering masam, lahan sawah bukaan baru, juga lahan tadah hujan perlu menjadi perhatian.

Selain pengetahuan tentang kebutuhan unsur hara, maka yang tidak kalah pentingnya adalah teknik pemupukan. Beberapa hal perlu diperhatikan dalam aplikasi pemupukan. Dalam Tabel 7 disajikan ringkasan teknik pemupukan yang disarikan dari berbagai sumber.

Tabel 7. Teknik pemupukan yang direkomendasikan agar lebih efektif sekaligus dapat mengurangi kehilangan hara
 Table 7. Recommended fertilizer application method for more effective thus to reduce nutrient loss

Jenis hara	Teknik aplikasi
Pupuk N (*)	Menghindari aplikasi urea di permukaan tanah, sebaiknya pupuk dicampur dengan tanah atau dibenamkan agak dalam ke lapisan reduksi, Membagi aplikasi menjadi 2 atau 3 kali dengan tujuan agar pupuk N yang diberikan dapat dimanfaatkan tanaman lebih optimal, Memberikan pupuk urea dalam larikan atau ditugal, kemudian ditutup dengan tanah, Memberikan pupuk dalam bentuk <i>slow release</i> atau granul, Memberikan pupuk jauh dari bibit, minimal berjarak 2.5 cm di bawah bibit
Pupuk P(**)	Memberikan pupuk P sesuai status P dalam tanah dan kebutuhan tanaman. Menempatkan P dalam larikan (<i>band</i>) atau ditugal untuk meminimalisir kontak dengan tanah. Disertai aplikasi bahan organik yang fungsinya untuk mengurangi kehilangan P dengan membentuk kompleks organik (<i>chelats</i>) ion P dengan Fe dan Al. Mengontrol pH tanah hingga mencapai 6-7 sehingga ketersediaan P dapat optimal. Mengoptimalkan interaksi dengan mikoriza. Hifa-hifa mikoriza sangat efektif melepaskan P terfiksasi dalam mineral liat. Mikoriza umumnya lebih efektif pada tanah masam.
Pupuk K (***)	Memberikan pupuk K sesuai dengan status hara tanah dan kebutuhan tanaman, Unsur K tidak mobil dalam tanah, maka pemberian pupuk K dekat benih pada tanaman tahunan lebih efektif dan efisien, namun perlu mempertimbangkan faktor salinitas sekitar rizosfir. <i>Side-band</i> , aplikasi pupuk K pada alur barisan tanaman lebih aman bagi tanaman terutama bila aplikasi pupuk K cukup tinggi. Idealnya, pupuk diberikan pada jarak sekitar 2,5 cm disamping tanaman. <i>Deep banding</i> , pemberian pupuk dalam banding yang cukup dalam juga sesuai untuk aplikasi pupuk K. <i>Broadcasting</i> , pemberian pupuk K dengan cara disebar hanya dianjurkan untuk tanah yang mengalami defisiensi K sehingga dosis aplikasi pupuk K sangat tinggi. Pemberian pupuk K dengan cara ini biasanya dilakukan untuk tanaman penghasil pakan ternak.

* Muchovej dan Rechcigl (1995), ** Brady dan Weil (2002) *** McKenzie dan Pauly (2013)

PENUTUP

Penggunaan pupuk anorganik masih menjadi prioritas utama untuk kelangsungan produksi pangan dan tanaman bernilai ekonomis lainnya di Indonesia. Penggunaan pupuk harus bijaksana, berimbang serta mengikuti prinsip 4 T yaitu: tepat sumber pupuk, tepat jumlah, tepat lokasi dan waktu pemberian yang disesuaikan dengan kebutuhan hara per periode pertumbuhan tanaman sehingga dapat menghasilkan produksi yang optimal. Permasalahan teknis terkait pupuk terutama adalah tingkat efisiensi pupuk yang rendah, belum meluasnya penggunaan pupuk mikro dan benefisial seperti Si dan amelioran. Tingkat adopsi teknologi di kalangan petani masih rendah, ditambah dengan kurangnya sosialisasi IPTEK terkait pemupukan. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan upaya pemerintah dalam mendukung penelitian dan sosialisasi teknologi pupuk dan pemupukan. Untuk meningkatkan pengetahuan petani dan adopsi inovasi dilakukan melalui diseminasi dalam bentuk demplot, percobaan di lahan petani, SLPTT, pameran, dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J.S., S. Moersidi., M. Sudjadi, dan A.M. Fagi. 1989. Evaluasi keperluan fosfat pada lahan sawah intensifikasi di Jawa. hlm. 63-89. *Dalam* Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk. Cipayung, 1988.
- Amanah, W.M. 2016. Pengaruh Aplikasi Silika dan Manajemen Pemberian Air Terhadap Pertumbuhan Padi (*Oryza Sativa* L.) dan Infeksi Penyakit Blas yang Ditanam pada Ultisols. Skripsi. Jurusan Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- APPI. 2016. Statistik. Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia. Data diunduh 7 April 2016.
- Balai Penelitian Tanah. 2012. Informasi tersedia dalam <http://balittanah.litbang.deptan.go.id/>
- BPS. 2015. Statistik Indonesia. Badan Pusat Statistik Indonesia. Jakarta.
- Brady, N.C, dan R.R. Weil. 2002. *The Nature and Properties of Soils 13th edition*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 935 pp
- FAO. 1997. *FAO Land and Water Bulletin 6. Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome.
- Fernandez, V., T. Sotiropoulos, dan P. Brown. 2013. Foliar Fertilization, Scientific Principles and Field Practices. *In* Proceeding of International Fertilizer Industry Association (IFA) Conference. Paris, France.
- Hartatik, W. dan J. Sri Adiningsih. 2003. Evaluasi rekomendasi pemupukan NPK pada lahan sawah yang mengalami pelandaian produktivitas (levelling off). Hlm. 17 – 36. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Sumberdaya Tanah dan Iklim. Bogor, 14 - 15 Oktober 2003. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Husnain, Nurjaya, I W. Suastika., dan H. Wibowo. 2014. Uji efektifitas pupuk an-organik Vitasul granular terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi, jagung dan bawang merah. Laporan Penelitian. Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 32 pp.
- Husnain, S. Rochayati, dan I. Adamy. 2012. Pengelolaan Hara Silika pada Tanah Pertanian di Indonesia. Hal. 237-246. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Pemupukan dan Pemulih Lahan Terdegradasi. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Husnain, T. Wakatsuki, dan T. Masunaga. 2010. Field assessment of nutrient balance under intensive rice-farming systems, and its effects on the sustainability of rice production in Java Island, Indonesia. *Journal of Agric. Food and Env. Sci.* 4 (1): 1-11.
- Husnain. 2009. *Nutrient Dynamics in Watersheds dan Lowland Sawah in Java Island in Relation to the Sustainability of Sawah Farming Systems in Indonesia*. PhD Dissertation. The United Graduate School of Agricultural Sciences of Tottori University.
- IPNI. 2014. *4R Plant Nutrition: A Manual for Improving the Management of Plant nutrition*. International Plant Nutrition Institute. <http://www.ipni.net/>. Accessed on January 2014.
- Indonesian Soil Research Institute. 2012. Annual Project Report: Improving Fertilizer Use Efficiency in Indonesia, Research Collaboration IMPHOS-ISRI. Indonesian Soil Research Institute
- Kasno, A. 2010. Nutrient balance at integrated management on lowland rice which is dominated by 1: clay mineral for high potential rice yields. *J. Trop Soils* 15 (2):119 - 126.
- Kasno, A., Nurjaya, dan D. Setyorini. 2006. Kalibrasi hara P dan K lahan sawah bermineral liat 1:1 untuk padi berpotensi hasil tinggi. 89-109. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Sumber daya Lahan Pertanian. Bogor, 14 - 15 September 2006. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian Bogor.
- Kementerian Pertanian. 2015a. Rencana Strategis Kementerian Pertanian Tahun 2015-2019. Kementerian Pertanian.
- Kementerian Pertanian. 2015b. Kinerja satu tahun Kementerian Pertanian, Oktober 2014-Oktober 2015. Kementerian Pertanian.
- Krauss, A. 2004. Balanced fertilization, the key to improve fertilizer use efficiency. *In* Proceeding of AFA 10th International Annual Conference. Cairo, Egypt 20-22 January 2004.
- Ma, J. F. 2009. Silicon uptake and translocation in plants. *In* The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI.

- Marschner. 1995. Mineral Nutrition in Higher Plants, 2 nd Edition, Academic Press, London.
- Mc. Kenzie, R, dan Pauly, D. 2013. Potassium Fertilizer Application in Crop Production, Alberta Agriculture and Rural Development. 7 pp.
- Moersidi, S., J. Prawirasumantri., W. Hartatik., A. Pramudia, dan M. Sudjadi. 1991. Evaluasi kedua keperluan fosfat pada lahan sawah intensifikasi di Jawa. hlm. 209-221. Dalam Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk V. Cisarua, 12-13 Nopember 1990. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Muchovej, R.M.C. dan J.E. Rechcigl. 1995. Nitrogen fertilizers. In: Rechcigl JE (ed) Soil amendmets and environmental quality. CRC Press, Inc. Boca Raton
- Nursyamsi, D., D. Setyorini, dan I. P. G. Widjaja-Adhi. 1993. Penentuan kelas hara P terekstrak beberapa pengekstrak dengan metode analisis keragaman yang dimodifikasi. hlm. 217-235. Dalam Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah dan Agroklimat: Bidang Kesuburan dan Produktivitas Tanah. Bogor 18-21 Februari 1993. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Pettinelli, D. 2013. Foliar Fertilization. Cooperative Extension University of Connecticut. Mansfield.
- Pilon-Smits, E.. H., C.F. Quinn., W. Tapken., M. Malagoli, dan M. Schiavon. 2009. Physiological functions of beneficial elements. Curr. Opin. Plant Biol. 12:267-274.
- Putrisiwi, N. F. 2015. Peningkatan Produktivitas Kacang Tanah (*Arachys hypogaea* L) dengan Pupuk Boron pada Inceptisols di Daerah Situ Hilir, Cibungbulang, Bogor. Skripsi pada Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang.
- Rashidi, M, dan M. Gholami. 2011. Nitrogen and boron effects on yield and quality of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). International Research Journal of Agriculture and Soil Science 1(4):118 - 125.
- Samaila, AA., E. B. Amans, dan B.A. Babaji. 2011. Yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) as influenced by mulching, nitrogen, and irrigation interval. International Research Journal of Agriculture and Soil Science 1(3): 090 - 095.
- Savant, N.K., L.E. Datnoff, dan G.H. Snyder. 1997a. Depletion of plant available silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 28:1245-1252.
- Savant, N. K., G.H. Snyder, dan L.E. Datboff. 1997b. Silicon management and sustainable rice production. In Advances Agronomy, Ed. DL. Sparks, pp. 151-199. Academic Press, San Diego.
- Setyorini, D., L.R. Widowati, dan J. Sri Adiningsih. 2003. Kurva respon pemupukan fosfat untuk padi sawah pada berbagai kelas status hara tanah. hlm. 1 – 16. Dalam Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Sumber daya Tanah dan Iklim. Bogor, 14 - 15 Oktober 2003. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Sukristiyonubowo, S. Ritung, dan N. Kusumo. 2012. Nitrogen and potassium balances of newly wetland rice field. International Research Journal Science and Soil Science 2(5):207-216.
- Sukristiyonubowo, L.R. Widowati, E.A. Kosman, dan Suwandi. 2009. Pengaruh pengelolaan hara terhadap sifat tanah dan hasil padi (*Oryza sativa* L.) varietas IR-42 pada sawah bukaan baru. hlm 221 – 232. Dalam Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Inovasi Sumberdaya Lahan. Bogor, 24-25 November 2009. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian. Bogor.
- Suriadikarta, D.A, dan A. Kasno. 2009. Teknologi pengelolaan hara terpadu terhadap neraca hara N, P, dan K pada varietas padi VUTB lahan sawah bermineral liat dominan 2:1 (monsomorionitik). hlm. 57-72. Dalam Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Inovasi Sumberdaya Lahan. Bogor, 24-25 November 2009. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian.
- Susila, W.R. 2010. Kebijakan subsidi pupuk: Ditinjau kembali. Jurnal Litbang Pertanian 29(2).
- Thompson, L. M. 1975. Weather variability, climatic change, and grain production. Science 188: 535-541.
- van der Ploeg, R. R., W. Bohm, dan M.B. Kirkham. 1999. History of soil science: on the origin of the theory of mineral nutrition of plants and the law of the minimum. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:1055-1062.
- Wihardjaka, A, dan S. Mulyono. 2003. Tanggap tanaman kacang hijau terhadap pemupukan pada tanah sawah tadah hujan tanpa olah tanah. hlm. 18 – 37. Dalam Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Sumberdaya Tanah dan Iklim. Bogor, 14 - 15 Oktober 2003. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor
- Wojcik, P. 2004. Uptake of mineral nutrients from foliar Fertilization. Orchard management in sustainable fruit production. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research vol. 12.