

Dinamika Anjuran Dosis Pemupukan N, P, dan K pada Padi Sawah

Ali Jamil, Sarlan Abdulrachman, dan Mahyuddin Syam

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi
 Jl. Raya 9 Sukamandi, Subang, Jawa Barat
 Email: jamil_3865@yahoo.com.au

Naskah diterima 15 Desember 2013 dan disetujui diterbitkan 16 Desember 2014

ABSTRACT

The Evolution of Recommendation Rates of NPK Fertilizations on Irrigated Rice. Until 1960s, farmers planted rice only once in a year, due to the use of late maturing, 5 to 6 month varieties. Fertilizer recommendation rate to optimize productivity of those varieties was low, 20 to 40 kg N/ha. The Green Revolution technology introduced in the late 1960s which was characterized by the use of high-yielding varieties highly responsive to fertilizer, was then adopted in the BIMAS (Mass Intensification Guidance) Program. The successful program in increasing yield of rice was then followed by INMAS (Mass Intensification), INSUS (Special Intensification), and OPSUS (Special Operations) programs, where the more refined fertilizer recommendation rates had played an important role, which subsequently led Indonesia achieved rice self-sufficiency in 1984. The levelling-off of rice production which occurred in the late 1980s was then addressed by introducing SUPRA INSUS program, containing 10- technology components of D-package. The very high rate of fertilizer recommendation on the D-package had worried many parties for its inefficiency and negative effect on the environment. Research was then intensified on the fertilizer use efficiency, especially N fertilizer, including the application of urea super granules (USG), and sulfur coated urea (SCU). Green manures such as *Azolla sp* and *Sesbania rostrata* were also being studied as alternative for sources of N nutrient. The P and K nutrient status in the soil was mapped which was used as reference for the fertilizer allocation in each province, based on the map scale of 1: 250,000. The recommendation rate of fertilizer for the sub-district level, was developed based on the map scale of 1: 50,000. To optimize the use of fertilizers, soil test kit and leaf color chart (LCC) were recommended to be used by the extension agents, so that farmers could benefit from the more efficient use of N, P, and K fertilizers. Long-term fertilizer field trials had been conducted since 1970s, where the result had shown that in intensive paddy fields, P and K fertilizers did not need to be applied every season. With the current rapid advanced in technology information, farmers have an access for the recommendation rate of fertilizer for specific location via internet, smart phones, or conventional hand phone. The validation of the fertilizer recommendation, known as site specific nutrient management (SSNM), had been carried out in major rice producing provinces, which proved to give some benefits to farmers, through the use of lower rates of fertilizers but higher yields. SSNM had played an important role in the formulation of integrated crop management (ICM) approach, implemented in the national rice production program. The Expert System of Rice Cultivation (SIPADI) operated by using computer, could be used as a tool in providing recommendation for specific location rice technology package. Adoption of SSNM faces several challenges such as small land holding, of which farmers tend to buy "small quantity" of fertilizer but actually too much for his land. The subsidized fertilizer prices had also discouraged farmers from following the SSNM.

Keywords: Rice, fertilizer, NPK, efficiency.

ABSTRAK

Hingga tahun 1960an, petani menanam padi sekali dalam setahun dengan menggunakan varietas lokal atau varietas unggul lama yang berumur panjang (sekitar 5-6 bulan). Anjuran penggunaan pupuk untuk meningkatkan produktivitas tanaman padi sawah cukup memadai dengan pemberian pupuk N antara 20-40 kg N/ha. Teknologi Revolusi Hijau yang dicirikan oleh penggunaan varietas unggul berdaya hasil tinggi dan tanggap terhadap pemupukan yang diaplikasikan pada Program BIMAS (Bimbingan Massal) yang dilanjutkan dengan INMAS (Intensifikasi Massal), INSUS (Intensifikasi Khusus), dan OPSUS (Operasi Khusus) berhasil mengantar Indonesia meraih swasembada beras. Pelandaian produksi yang terjadi setelah itu dicoba diatasi melalui Program SUPRA INSUS dengan 10-jurus paket D yang mengkhawatirkan banyak pihak karena dinilai tidak efisien. Penelitian efisiensi penggunaan pupuk seperti urea super granule

(USG), SCU (*sulphur coated urea*), dan urea briket lalu mendapat perhatian yang lebih besar dari sebelumnya. Penggunaan pupuk hijau seperti *Azolla* sp dan *Sesbania rostrata* juga diteliti sebagai sumber pupuk N dan dianjurkan kepada petani. Status hara P dan K kemudian dipetakan yang dapat diacu untuk alokasi dosis pupuk tersebut per provinsi dalam skala 1:250.000 dan sebagai anjuran pemupukan sampai tingkat kecamatan dalam skala 1:50.000. Untuk menentukan dosis pupuk optimum, penelitian menghasilkan PUTS (perangkat uji tanah sawah) dan BWD (bagan warna daun) yang dapat menjadi acuan petani dalam penggunaan pupuk N, P, dan K secara lebih efisien. Penelitian lapang pemupukan jangka panjang menunjukkan pula bahwa di lahan sawah intensif, pupuk P dan K tidak perlu diberikan setiap musim. Dengan kemajuan teknologi informasi yang berkembang pesat akhir-akhir ini, informasi dosis anjuran pemupukan padi sawah spesifik lokasi dapat diakses melalui internet, telpon pintar (*smart phone*), dan telpon biasa oleh tenaga penyuluh dan petani. Validasi anjuran dosis pemupukan yang dikenal dengan PHSL ini telah dilakukan di beberapa provinsi, dan penerapannya terbukti memberikan keuntungan bagi petani melalui penggunaan takaran pupuk yang lebih rendah tetapi hasil panen yang lebih tinggi. Pemupukan hara spesifik lokasi (PHSL) telah memegang peranan penting dalam pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) yang diimplementasikan dalam program peningkatan produksi beras nasional (P2BN). Sejalan dengan itu, Badan Litbang Pertanian juga telah menghasilkan Sistem Pakar Budi Daya Padi (Sipadi) yang merupakan alat bantu penyusunan paket teknologi budi daya padi spesifik lokasi yang dioperasikan dengan komputer. Penerapan anjuran pemupukan secara efisien dihadapkan kepada tantangan, antara lain, rendahnya kepemilikan lahan petani, terutama di Jawa, dan relatif murah harga pupuk subsidi.

Kata kunci: Padi, pemupukan, NPK, efisiensi.

PENDAHULUAN

Unsur hara N, P, dan K sangat dibutuhkan oleh tanaman padi dan untuk dapat memberikan hasil yang tinggi diperlukan tambahan pupuk kimia atau an-organik karena pasokan hara dari tanah dan sumber alami lainnya kurang mencukupi. Penambahan pupuk an-organik tersebut perlu dilakukan secara tepat berkaitan dengan ketersediaan hara dalam tanah dan kebutuhan tanaman sesuai dengan tingkat hasil yang ingin dicapai. Dengan demikian biaya produksi dapat ditekan dan kelestarian lingkungan tetap terjaga.

Program peningkatan produksi pangan telah mendapat perhatian dari pemerintah sejak awal kemerdekaan sejalan dengan permintaan akibat kenaikan jumlah penduduk. Oleh karena itu, pemerintah memberikan perhatian terhadap upaya peningkatan produktivitas padi. Pada periode 1945-1950, petani menanam padi varietas lokal atau unggul lama, yang berdaya hasil rendah (2-3 t/ha gabah kering) dan berumur panjang dengan intensitas tanam sekali setahun. Dengan kondisi tersebut anjuran pupuk N juga rendah, 20-40 kg/ha, sedang hara P dan K masih tersedia cukup, berasal dari dalam tanah dan air irigasi (Fagi *et al.* 2009).

Pada periode 1957-1960, kombinasi pemupukan sumber hara NPK diteliti dengan menggunakan varietas unggul lama Sigadis dan Bengawan di sejumlah lokasi di Jawa. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kedua varietas itu hanya tanggap terhadap pemberian pupuk N bila dikombinasikan dengan pupuk P dan K di Jawa Barat dan Jawa Timur, dan dengan pupuk P di Jawa Tengah.

Penelitian selanjutnya (1961-1965) dengan lokasi yang lebih banyak memberikan kesimpulan yang tidak begitu jauh berbeda (Fagi *et al.* 2009).

Panca usahatani (pengolahan tanah, pengairan, benih unggul, pemupukan, pemberantasan hama dan penyakit) yang dianjurkan tampaknya belum meyakinkan petani karena kurang tersedianya tenaga pengawalan dan penyuluhan. Hal ini mendorong dilaksanakannya suatu proyek percontohan yang meliputi areal sekitar 100 ha di Karawang. Keberhasilan proyek ini memicu diselenggarakannya program Demonstrasi Massal pada areal seluas 11.000 ha dan pada tahun 1965/1966 program ini berganti nama menjadi BIMAS (Bimbingan Massal) yang kemudian berkembang dengan munculnya INMAS dan BIMAS Baru (Nataatmadja 1988).

Dengan tersedianya varietas unggul baru IR5 dan IR8 yang dikenal juga dengan nama PB5 dan PB8 yang tanggap terhadap pemupukan, produksi padi meningkat dengan cepat. Penanaman varietas unggul PB5 dan PB8 disertai penggunaan pupuk takaran tinggi pada periode ini dikenal juga sebagai awal Revolusi Hijau di Indonesia. Beragam tantangan yang dihadapi dalam upaya meningkatkan produksi beras, seperti kekeringan dan serangan hama dan penyakit, diatasi melalui berbagai rekayasa kelembagaan dan teknis seperti INSUS dan OPSUS. Panca usahatani ditingkatkan menjadi Sapta usahatani (Panca usahatani plus penanganan panen dan pascapanen) yang turut mengantarkan Indonesia mencapai swasembada beras pada tahun 1984 (Nataatmadja 1988, Fagi *et al.* 2009).

Pelandaian produksi padi yang terjadi setelah itu mendorong dicanangkannya Supra Insus dengan menggerakkan gabungan kelompok tani (Gapoktan) untuk menerapkan paket teknologi yang disebut 10-jurus paket D. Salah satu dari paket teknologi itu adalah penggunaan pupuk berimbang yang sering disalah tafsirkan oleh sebagian pihak (Fagi *et al.* 2003). Sejak itu, Badan Litbang Pertanian melakukan penelitian yang lebih mendalam yang menekankan kembali perlunya pemupukan secara spesifik berdasarkan lokasi. Data dari berbagai hasil penelitian dikaji dan dianalisis. Selanjutnya, uji tanah dilakukan untuk melihat status kesuburan lahan, kebutuhan pupuk, dan penggunaan amelioran. Namun anjuran pemupukan padi sawah yang digunakan masih bersifat umum meski peta status hara P dan K telah dihasilkan. Peta yang menggolongkan status hara kedua unsur tersebut dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi, dalam skala tertentu dapat dipakai sebagai acuan dalam menentukan takaran pupuk P dan K yang perlu diberikan (Abdulrachman *et al.* 2006, 2008).

Peningkatan efisiensi penggunaan pupuk semakin gencar dicanangkan yang sebagian di antaranya disebabkan oleh semakin meningkatnya kekhawatiran akan pencemaran lingkungan dan terganggunya kesuburan tanah akibat pemakaian pupuk kimia dalam takaran tinggi secara terus-menerus. Efisiensi penggunaan pupuk N dianjurkan dengan pedoman penggunaan *Soil and Plant Analysis Development* (SPAD) atau chlorophyll meter yang kemudian secara empiris disederhanakan menjadi bagan warna daun (BWD). Sedangkan efisiensi pupuk P dan K berpedoman pada analisis tanah, perangkat uji tanah sawah (PUTS), atau uji petak omisi. Kemajuan teknologi informasi akhir-akhir ini, memudahkan penyuluh dan teknisi lapang dalam memberikan anjuran pemupukan bagi spesifik lahan masing-masing petani atau kelompok tani melalui akses internet, *smartphone*, dan bahkan telpon genggam konvensional (Abdulrachman *et al.* 2004, Abdulrachman 2010, Buresh *et al.* 2012, Puslitbang Tanaman Pangan 2012). PHSL telah menjadi salah satu komponen utama dalam pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) yang diimplementasikan dalam Program Peningkatan Produksi Beras Nasional (P2BN). Hal ini tercermin dari dibentuknya Sekolah Lapang (SL)-PTT di sejumlah sentra produksi padi (Ditjentan 2012). Sejalan dengan itu, Badan Litbang Pertanian juga mengeluarkan Sistem Pakar Budi Daya Padi (Sipadi) yang dapat dioperasikan dengan komputer. Rekomendasi PHSL ini masih perlu diteliti lebih lanjut pada lingkungan tertentu, mengingat beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pada lahan sawah intensif, pupuk P dan K tidak perlu diberikan setiap musim.

PEMUPUKAN PADI SAWAH PADA PERIODE 1945-1955

Di antara berbagai unsur hara yang diperlukan tanaman padi, hara N, P, dan K adalah yang terpenting yang ketersediaannya di dalam tanah umumnya tidak mencukupi bagi pertanian intensif dengan hasil tinggi. Oleh karena itu, kebutuhan hara tersebut bagi tanaman padi intensif dipenuhi melalui pupuk an-organik dalam bentuk pupuk N, pupuk P, dan pupuk K. Pupuk N yang sering digunakan adalah urea dan ZA (ammonium sulfat), pupuk P dalam bentuk SP36 dan TSP, dan pupuk K dalam bentuk KCl. Sejak beberapa tahun lalu telah berkembang pula pupuk majemuk yang mengandung dua atau lebih unsur hara tersebut.

Hara N memegang peranan yang sangat penting dalam mempercepat pertumbuhan tanaman, memperbesar ukuran daun, dan meningkatkan jumlah bulir per malai. Hara P diperlukan untuk penyimpanan dan pengangkutan energi dalam tanaman, bersifat mobil dalam tanaman dan mendorong pembentukan anakan, pertumbuhan akar, pembungaan awal, dan pemasakan. Hara K diperlukan untuk memindahkan produk fotosintesis dalam tanaman, memperkuat dinding sel, serta meningkatkan jumlah gabah per malai dan persentase gabah isi (Abdulrachman *et al.* 2002, Fairhurst *et al.* 2007).

Sampai awal abad ke-20, untuk meningkatkan produksi pertanian, pupuk an-organik hanya digunakan pada tanaman perkebunan. Peningkatan produksi padi diusahakan melalui ekstensifikasi dan bila perlu pemupukan, tanaman cukup diberi pupuk kandang kering yang diimbangi dengan pengembalian jerami padi setelah dibakar. Sumber pupuk lainnya dapat berupa pupuk hijau seperti *Crotalaria* sp dan tanaman turi. Padi yang ditanam petani pada saat itu adalah varietas lokal atau varietas unggul lama seperti padi Bulu, padi Cempo, atau padi Cina yang umumnya kurang tanggap terhadap pemupukan. Hasil gabah yang diperoleh sekitar 2 t/ha dengan dosis pupuk 20 kg N/ha dari ZA (ammonium sulfat). Penggunaan pupuk dalam peningkatan produksi padi mulai dirasakan manfaatnya sejak tahun 1950, bersamaan dengan ditemukannya varietas unggul padi Sigadis, Bengawan, Shinta, Jelita, dan Batara yang relatif lebih tanggap terhadap pemupukan.

Pada kondisi ini, ketika padi ditanam sekali dalam setahun, kebutuhan hara utama tanaman adalah sekitar 90 kg N, 10 kg P, dan 76 kg K yang umumnya terpenuhi dari tanah, air irigasi dan hujan, fiksasi N dari udara, mikroba tanah, dan bahan organik setempat selama masa pertumbuhan. Selain itu, kondisi bera juga memberikan keuntungan, seperti mempercepat mineralisasi bahan organik secara aerobik dan pelepasan zat-zat toksik bagi tanaman dari dalam tanah (Makarim dan Suhartatik 2006).

Program peningkatan produksi beras pada waktu itu telah mendapat perhatian yang tinggi dari pemerintah, tercermin dari konsep pembangunan pertanian yang dikenal sebagai Rencana Kasimo, kemudian menjadi Rencana Wisaksono, dan diperbaiki menjadi Rencana Kesejahteraan Indonesia (RKI) (Nataatmadja 1988). Agenda penelitian guna menghasilkan teknologi yang mendukung RKI berhasil dirumuskan dengan program antara lain (i) seleksi padi oleh Balai Penyelidikan Teknik Pertanian, (ii) pendirian 200 kebun benih di lahan sawah, (iii) peningkatan penggunaan pupuk fosfat pada lahan sawah yang berkeandungan P rendah, (iv) perbaikan sistem usahatani lahan kering, dan (v) peningkatan kegiatan Balai Penyelidikan Penyakit Tanaman untuk mengendalikan hama dan penyakit padi dan kacang-kacangan (Fagi *et al.* 2009).

Dengan berakhirnya Pemerintah Indonesia Federal pada tahun 1950, program pembangunan pertanian disusun secara lebih sistematis dengan menyempurnakan program untuk menunjang RKI. Program ini antara lain mencakup perbanyakan benih unggul padi dan palawija dengan meningkatkan jumlah kebun benih dan bibit, perbaikan dan perluasan pengairan, dan peningkatan penggunaan pupuk untuk semua jenis tanaman, terutama pupuk N dan P pada padi. Percobaan pemupukan pada MH 1957/1958 di sentra produksi padi di Jawa menggunakan varietas Bengawan dan Sigadis merupakan dasar dari anjuran pemupukan pra-Bimas yang menetapkan dosis pupuk 30-60 kg N/ha. Apabila diperlukan, pupuk P disarankan dengan dosis 30 kg P_2O_5 /ha, sedangkan pupuk K tidak dianjurkan karena air irigasi diperkirakan mampu memenuhi kebutuhan unsur hara tersebut (Taslim *et al.* 1989, Fagi *et al.* 2009).

PERIODE PRA-BIMBINGAN MASSAL (PRA-BIMAS)

Pada MT 1957/58 dan 1959/60, Balai Penyelidikan Teknik Pertanian melakukan penelitian berbagai kombinasi pupuk N, P, dan K di sejumlah sentra produksi padi di Jawa dengan menggunakan varietas unggul lama Sigadis dan Bengawan. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kedua varietas ini tanggap terhadap pemupukan sampai 40 kg N/ha, bila disertai pemberian pupuk P di Jawa Tengah dan pupuk P dan K di Jawa Barat dan Jawa Timur. Pengujian lebih lanjut pada tahun 1961-1965 di sentra produksi padi di Jawa memberikan hasil yang agak berbeda dengan kesimpulan bahwa kedua varietas ini kurang tanggap terhadap pupuk N. Takaran pupuk N sebesar 30 kg/ha cukup optimal menaikkan hasil sedangkan pupuk K tidak menaikkan hasil di Jawa Tengah dan Jawa Timur. Pupuk K bisa meningkatkan hasil kalau

diberikan bersama pupuk N dan P pada takaran 60 kg N/ha di Jawa Barat (Fagi *et al.* 2009). Hasil penelitian ini tampaknya mendukung argumentasi Makarim dan Suhartatik (2006) mengingat varietas Bengawan dan Sigadis yang dilepas pada tahun 1943 dan 1953 merupakan varietas unggul lama yang masih berumur dalam, masing-masing 160 dan 145 hari dan umumnya ditanam sekali dalam setahun. Anjuran pemupukan padi sawah sampai periode ini masih didasarkan atas pengujian lapang dan bersifat umum.

PERIODE BIMAS, INSUS, DAN SUPRA INSUS

Program Padi Sentra dengan Panca Usahatani (pengolahan tanah, pengairan, benih unggul, pemupukan, pemberantasan hama dan penyakit) yang dicanangkan pemerintah untuk meningkatkan produksi padi kurang mendapat tanggapan dari petani. Hal ini mendorong dilaksanakannya suatu proyek percontohan sekitar 100 ha di Karawang yang memberikan hasil panen antara 6,22-6,55 t/ha dalam bentuk malai, jauh lebih tinggi dari hasil petani sekitarnya (2,4-4,4 t/ha). Keberhasilan proyek ini memicu diselenggarakannya program Demonstrasi Massal yang pada tahun 1965/1966 berganti nama menjadi BIMAS (Bimbingan Massal) lalu mengalami perkembangan menjadi INMAS dan BIMAS Baru. Pada tahun 1967/68, luas intensifikasi melalui BIMAS dan INMAS lebih dari 1,1 juta ha (Nataatmadja 1998).

Pada MT 1968, Program BIMAS BARU mengembangkan varietas unggul IR5 dan IR8 introduksi dari IRRI (*International Rice Research Institute*) yang juga dikenal sebagai PB5 dan PB8. Kedua varietas ini mempunyai respon yang tinggi terhadap pemupukan dengan umur yang relatif lebih genjah. PB5 dan PB8 dengan cepat berkembang di masyarakat meski kemudian muncul keluhan akan cita rasanya yang kurang memenuhi selera sebagian besar di antara mereka, terutama yang bermukim di Jawa. Oleh karena itu, dilepasnya varietas unggul nasional Pelita 1-1 dan Pelita 1-2 pada tahun 1971 dengan cepat berkembang dalam areal yang luas karena rasa nasinya yang enak selain berdaya hasil tinggi (Nataatmadja 1988)

Berbagai kegiatan penelitian yang berkaitan dengan pemupukan tanaman padi sawah dilakukan terhadap varietas unggul baru ini oleh Lembaga Pusat Penelitian Pertanian (LP3) yang kemudian dikenal sebagai Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Hara yang paling banyak digunakan untuk produksi padi adalah N yang efisiensinya hanya sekitar 30-40% karena diaplikasikan secara sebar (Ismunadji 1988). Penyebab utama rendahnya efisiensi pemupukan N adalah hilangnya hara N melalui emisi gas, *run off*, erosi, dan pencucian.

Hilangnya N dalam bentuk gas yang meliputi volatilisasi dan denitrifikasi menyebabkan dibebaskannya NH₃, NO, N₂O, dan N₂ ke udara. Oleh karena itu penelitian efisiensi penggunaan pupuk N mendapat perhatian besar di samping pupuk P dan K. Berbagai pupuk hijau seperti *Azolla* sp dan *Sesbania rostrata* juga diteliti penggunaannya agar dapat menggantikan atau mengurangi pemakaian pupuk N pada padi sawah (Virgilius *et al.* 1981, Ladha *et al.* 1989, Puslitbang Tanaman Pangan 1989).

Urea berbalut belerang yang dikenal dengan *sulphur coated urea* (SCU) dan urea super granule (USG), dan urea briket dengan perlakuan pembedaan di lapisan reduksi diteliti secara intensif pada periode 1970-1980an. Penelitian Partohardjono *et al.* (1981) di tiga lokasi dengan menggunakan varietas IR26, misalnya, memperlihatkan bahwa ketiga jenis pupuk ini relatif lebih efisien daripada urea prill. Penelitian lainnya sepanjang tahun 1975-78 menyimpulkan bahwa baik urea balut lumpur (*mudball*), maupun urea briket, dan SCU pada takaran 60 kg N/ha sama efektifnya dengan perlakuan urea prill dengan takaran tinggi (120 kg N/ha) (Partohardjono *et al.* 1983). Penelitian selanjutnya dengan perlakuan USG dan SCU di beberapa lokasi dan musim juga menunjukkan bahwa keduanya dengan takaran 58 kg N/ha memberikan hasil yang setara dengan urea prill dengan takaran 116 dan 174 kg N/ha (Fagi *et al.* 1987).

Berdasarkan hasil penelitian ini, kemudian dirancang suatu petak demonstrasi dengan satu set perlakuan USG dan urea pada takaran berbeda di 4 desa di Kabupaten Banyuwangi dan 4 desa di Kabupaten Magetan, Jawa Timur pada tahun 1984. Demonstrasi ini melibatkan beberapa instansi seperti Puslitbang Tanaman Pangan, Puslit Tanah, Ditjen Tanaman Pangan, Dinas Pertanian Provinsi dan Kabupaten, serta penyuluh dan petani. Hasil yang diperoleh memperlihatkan superioritas USG dibandingkan dengan urea prill seperti terlihat pada Tabel 1. Meski demikian penyuluh dan petani juga mengamati bahwa selain memberi hasil yang lebih tinggi, tanaman yang dipupuk dengan USG juga berumur lebih panjang beberapa hari dan waktu yang digunakan untuk memupuk dengan USG juga lebih lama (Fagi *et al.* 1987).

Pembedaan USG di antara 4 rumpun tanaman padi memerlukan alat bantu yang bisa mengurangi kejerihan petani. Pupuk majemuk juga telah diteliti pada periode ini yang hasilnya memberi respon yang setara dengan pupuk tunggal bila digunakan pada takaran yang sama. Penelitian menyangkut takaran pupuk N, P, dan K yang dikaitkan dengan jarak tanam atau waktu pemberian dilakukan di sejumlah lokasi, terutama kebun-kebun percobaan yang dikelola oleh Puslitbang Tanaman Pangan (Puslitbang Tanaman Pangan 1989).

Tantangan produksi padi yang terjadi sejak dimulainya program BIMAS dalam bentuk kekeringan dan serangan hama dan penyakit dapat diatasi melalui rekayasa kelembagaan dan teknis melalui INSUS dan OPSUS dengan anjuran penerapan Sapta Usahatani (Panca Usahatani plus penanganan panen dan pascapanen) dan PHT. Penerapan secara luas varietas unggul tahan wereng IR36 dan Cisadane memberi andil besar dalam pencapaian swasembada beras tahun 1984. Produksi beras saat itu sekitar dua kali lipat produksi tahun 1969 (Fagi *et al.* 2009, Nataatmadja 1988).

Pada periode ini, uji tanah mulai dilakukan untuk melihat status kesuburan lahan, kebutuhan pupuk, dan amelioran. Metode uji tanah seperti Bray-1, Bray-2, NH₄OAC, Olsen, dan Kjeldahl digunakan untuk menilai kesuburan tanah, tetapi rekomendasi pemupukan padi sawah yang dipakai hingga tahun 1990an masih berlaku umum untuk semua wilayah di Indonesia. Pemupukan belum mempertimbangkan status hara tanah dan kemampuan tanaman menyerap hara (Rachman 2011). Sedangkan status hara P dan K pada tanah sawah bervariasi antarlokasi (Sofyan *et al.* 2004).

Tabel 1. Pengaruh takaran dan sumber pupuk N (USG dan urea prill) terhadap hasil gabah IR36 di masing-masing 4 desa dari Kabupaten Banyuwangi dan Kabupaten Magetan, MK 1984.

Takaran N (kg/ha)*	Hasil gabah (t/ha)				
	Setail	Genteng Kulon	Genteng Wetan	Kembiritan	Rata-rata
Banyuwangi					
58 USG	5,78	5,42	5,02	5,60	5,46
87 UP	5,33	4,92	3,67	4,92	4,71
87 USG	5,65	5,29	5,10	5,73	5,42
116 UP	5,65	4,79	2,63	4,24	4,32
116 USG	6,38	5,65	5,75	5,96	5,94
174 PU	5,72	4,76	3,64	3,75	4,47
LSD 5%					0,71
1%					1,05
CV (%)					9,90
Magetan					
58 USG	4,96	6,59	2,71	6,25	5,13
87 UP	4,27	5,66	2,53	5,10	4,39
87 USG	5,73	6,48	3,15	6,91	5,57
116 UP	4,82	6,18	3,13	5,38	4,88
116 USG	5,49	6,97	3,63	7,76	5,96
174 UP	4,86	6,20	3,40	6,04	5,12
LSD 5%					0,56
1%					0,78
CV (%)					7,20

*USG = urea super granule; UP = urea prill
 Sumber: Fagi *et al.* (1987).

Setelah dicapainya swasembada beras, penurunan laju kenaikan produksi dan bahkan pelandaian produksi terjadi di beberapa daerah. Antusiasme daerah dalam menjalankan program INSUS dan OPSUS terkesan menurun sementara serangan hama wereng dan kekeringan dapat mengancam produksi padi (Nataatmadja 1988). Oleh karena itu, dicanangkan program SUPRA INSUS yang menggerakkan gabungan kelompok tani (Gapoktan) dalam satu hamparan yang dikenal sebagai rekayasa sosial. Program ini menggunakan paket teknologi yang disebut 10-jurus paket D dengan komponen: (i) penanaman varietas unggul baru tahan wereng coklat (VUTW), (ii) penggunaan benih padi bersertifikasi (label biru), (iii) pengolahan tanah sempurna, (iv) populasi tanaman lebih dari 200.000/ha, (v) pengairan yang cukup bagi tanaman, (vi) pemberian pupuk secara berimbang, (vii) penggunaan PPC (pupuk pelengkap cair) atau ZPT (zat pengatur tumbuh), (viii) penerapan konsep PHT dalam pengendalian hama dan penyakit, (ix), penerapan pola tanam untuk memutus siklus hama dan penyakit utama, dan (x) pengelolaan pascapanen yang tepat untuk menekan kehilangan hasil dan menaikkan kualitas beras (Fagi *et al.* 2009).

Anjuran penerapan program ini secara merata di seluruh wilayah Indonesia menimbulkan kekhawatiran sebagian kalangan, apalagi komponen pemberian pupuk secara berimbang dipersepsikan secara keliru oleh sebagian aparat. Mereka menganggap pemupukan secara berimbang adalah pemberian semua unsur hara, terutama N, P, K dalam takaran tinggi, terhadap tanaman padi.

Meskipun tanaman hanya mampu menyerap 10-15% dari pupuk P yang ditambahkan (Adiningsih 1989), pemberian pupuk ini dalam takaran tinggi setiap musim tanam akan menyebabkan terjadinya timbunan hara P yang sebagian dapat dimanfaatkan oleh tanaman musim berikutnya. Oleh karena itu, Badan Litbang Pertanian melalui Puslitbang Tanaman Pangan dan Puslit Tanah (sekarang BBSDLP-Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian) membentuk Kelompok Kerja Pemupukan (Fagi *et al.* 2009). Kelompok ini antara lain menyimpulkan bahwa luas

lahan sawah dengan status P rendah turun dari 33,8% pada tahun 1974 menjadi 14,9% pada tahun 1988 karena terjadinya akumulasi residu P di Jawa. Sedangkan lahan dengan status hara P sedang-tinggi, naik dari 66,2% menjadi 85,1%. Berdasarkan kesimpulan itu dianjurkan agar lahan yang status hara P-nya sedang dan tinggi tidak perlu dipupuk P setiap musim (Tabel 2) (Fagi *et al.* 2003).

Penetapan kandungan P dan K tanah yang berkorelasi dengan hasil panen padi dilakukan dengan menggunakan larutan HCl 25%. Berdasarkan hasil kalibrasi di berbagai tempat diperoleh klasifikasi status hara P untuk padi sawah sebagai berikut: rendah <20 mg P₂O₅/100 g; sedang 20-40 mg P₂O₅/100 g; dan tinggi >40 mg P₂O₅/100 g tanah. Sedangkan klasifikasi hara K dengan larutan yang sama untuk padi sawah adalah rendah <10 mg K₂O/100 g; sedang 10-20 mg K₂O/100 g; dan tinggi >20 mg K₂O/100 g tanah (Adiningsih *et al.* 1989, Moersidi *et al.* 1991). Peta status hara P dan K tanah lalu dibuat berdasarkan atas klasifikasi ini. Peta status hara tanah skala 1:250.000 dapat diacu sebagai dasar dalam alokasi pupuk tingkat provinsi, sedangkan peta status hara tanah skala 1:50.000 dapat digunakan sebagai dasar penyusunan rekomendasi pemupukan tingkat kecamatan (Sofyan *et al.* 2004).

Di sisi lain, percobaan pemupukan jangka panjang yang diselenggarakan di Maros, Sulawesi Selatan, selama 20 musim sejak tahun 1977 menyimpulkan bahwa pemberian pupuk P dapat dilakukan setiap 4 musim tanam (Puslitbang Tanaman Pangan 1989). Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian jangka panjang yang dilaksanakan di Sukamandi. Penelitian di Sukamandi ini juga menunjukkan bahwa pemberian pupuk K dapat mempertahankan hasil di atas 5 t/ha dan residu pupuk K dapat dimanfaatkan hingga 7 musim berikutnya (Abdulrachman 2004).

Pada tahun 1996, laju kenaikan produksi padi masih lebih rendah daripada laju kenaikan permintaan. Total faktor produksi juga turun yang menandakan bahwa untuk memperoleh tingkat produksi yang sama diperlukan input yang lebih besar atau penambahan input tidak proporsional dengan kenaikan hasil (Abdulrachman dan Susanti 2000). Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi produksi telah menurun.

Tabel 2. Status hara P tanah sawah intensifikasi (terekstrak HCl 25%) dan ajuran pemupukan P di Jawa.

Kadar P tanah (mg P ₂ O ₅)	Kriteria akumulasi P	Luas sawah (juta ha)	Takaran anjuran (kg TSP/ha)	Interval pemupukan TSP
< 20	Rendah	0,54	100-125	Setiap musim
20-40	Sedang	1,66	75	Setiap 2 musim
>40	Tinggi	1,45	50	Setiap 4 musim

Sumber: Fagi *et al.* (2003).

PERIODE 2000-2014: PENGELOLAAN HARA SPESIFIK LOKASI

Produktivitas tanaman ditentukan oleh faktor genotipe, lingkungan, dan manajemen yang sering disebut G x E x M atau genotype x environment x management (Kirkegaard and Hunt 2010, Puslitbang Tanaman Pangan-IRRI 2012). Genotipe yang tercermin dari varietas yang digunakan dengan potensi hasilnya akan memberikan

produktivitas optimal pada lingkungan (musim, tinggi tempat, ekosistem) dan pengelolaan (hara, air, hama/penyakit) yang optimal.

Intensifikasi produksi padi dengan menerapkan 2-3 kali pertanaman padi dalam setahun dan disertai oleh pemupukan kimiawi dalam takaran tinggi secara terus-menerus diduga telah menyebabkan perubahan fisiko-kimia tanah di lapisan perakaran tanaman (Abdulrachman 2004, Toha *et al.* 2001). Menurunnya kandungan bahan organik tanah di banyak wilayah ditengarai turut memberi andil dalam gejala pelandaian produksi padi sejak sekitar dua dekade silam yang menyebabkan kelelahan tanah (*soils fatigue*). Hal ini ternyata tidak hanya terjadi di Indonesia, tetapi juga di beberapa negara penghasil beras lainnya di Asia. Ketidakseimbangan hara dalam tanah dan turunnya produksi padi akibat penggunaan pupuk dosis tinggi sebelum dikembangkannya konsep PHSL telah dilaporkan oleh beberapa peneliti (Venkataraman 1984, Taslim *et al.* 1989, Juliardi 1995, Cassman dan Pingali 1994). Berkurangnya bahan organik tanah dalam bentuk fraksi yang mobil juga telah diduga menjadi penyebab utama penurunan hasil padi di IRRI (Filipina) (Olk *et al.* 1995). Hal serupa juga terjadi di TNRR (India) dan di BB Padi (Indonesia) (Taslim *et al.* 1989, Juliardi 1995).

Fenomena ini membuka cakrawala dalam mengembangkan metode untuk menentukan status hara tanah. Metode ekstraksi hara yang semula bertujuan untuk mengukur satu unsur hara tertentu di tanah telah berkembang menjadi metode pengukuran beberapa unsur hara sekaligus. Metode Mehlich-Bowling, misalnya, dapat mengukur status hara P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, dan Mn di tanah (Mehlich 1978) dinilai merupakan salah satu kemajuan dalam uji tanah.

Kenyataan di atas telah mendorong IRRI dan Badan Litbang Pertanian untuk mengembangkan Pengelolaan Hara Spesifik Lokasi (PHSL-*Site Specific Nutrient Management*) yang kemudian divalidasi melalui kajian di 200 lokasi lahan sawah irigasi petani di 6 negara Asia Selatan dan Asia Tenggara, termasuk Indonesia di pertengahan tahun 1990an (Dobermann *et al.* 2002a, Guanghuo *et al.* 2001, Johnston *et al.* 2009, Satyanarayana *et al.* 2011). Penelitian tersebut berkesimpulan bahwa: (i) penurunan atau pelandaian produktivitas padi sawah di areal intensifikasi memang terjadi, tetapi relatif mudah diperbaiki, (ii) sumber pupuk alami yang tersedia (dari tanah, air irigasi, pupuk kandang, dan sisa tanaman) perlu dimanfaatkan secara optimal dan petakan sawah dikeringkan dalam jangka pendek untuk menggilir rejim air dari kondisi reduktif ke oksidatif, (iii) pemupukan P dan K disesuaikan dengan hasil analisis tanah dan kebutuhan tanaman, dan (iv) perbaikan waktu

dan takaran pemupukan N sesuai dengan kebutuhan tanaman (Fagi *et al.* 2003).

PHSL mencakup tiga langkah penting (Wang *et al.* 2001, Khurana *et al.* 2007, Buresh 2006), yaitu:

- Tetapkan target hasil realistis yang ingin dicapai. Target hasil didasarkan atas hasil panen tertinggi yang pernah dicapai dengan pengelolaan tanaman yang biasa dilakukan petani (tidak ada kendala dalam penyediaan hara NPK untuk tanaman padi) pada saat iklim baik. Target hasil tersebut mencerminkan jumlah total hara yang harus tersedia dalam tanah dan yang diserap oleh tanaman. Tingkat hasil bergantung pada faktor lingkungan seperti iklim, varietas, dan pengelolaan sumber daya dan tanaman. Sebagai acuan, penetapan target hasil digunakan batas atas 80% dari potensi hasil menurut deskripsi varietas yang dipakai (Abdulrachman 2001).
- Gunakan hara yang telah tersedia secara efektif. Hal ini dapat dilakukan melalui pengukuran hasil panen dari uji petak omisi atau minus satu unsur, yaitu petak -N (hanya dipupuk P dan K), petak -P (hanya dipupuk N dan K), petak -K (hanya dipupuk N dan P), dan petak NPK (dipupuk N, P, dan K).
- Tambahkan pupuk kimia untuk mengisi kekurangan antara kebutuhan tanaman dan pasokan hara alami.

Berdasarkan hal tersebut di atas dapat dikatakan bahwa anjuran pemupukan tanaman padi sawah dewasa ini sudah berorientasi kepada peningkatan efisiensi penggunaan pupuk N, P, K dan pelestarian lingkungan. Penggunaan pupuk N mengacu pada nilai pembacaan piranti *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) meter atau Bagan Warna Daun (BWD) (Peng *et al.* 1993, Balasubramanian *et al.* 2000, Juliardi *et al.* 2000). Sedangkan penggunaan pupuk P dan K berdasarkan hasil panen pada Petak Omisi, atau berdasarkan Peta Status Hara P dan K, atau mencocokkan hasil uji Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS) yang dikembangkan oleh Badan Litbang Pertanian (Abdulrachman 2010).

Batas kritis penetapan aplikasi pupuk N berada pada angka 35 pada SPAD meter atau skala 4 pada BWD. Pada ambang batas tersebut daun padi mengandung 1,4-1,5 g N/m² luas daun (Abdulrachman *et al.* 2008, Faihurst *et al.* 2007). Dengan alat ini petani dapat segera mengetahui perlu tidaknya tanaman padi diberi pupuk N dengan takaran yang tepat. Pemupukan berdasarkan BWD dapat menghemat kebutuhan pupuk N sebesar 10-15% dan menekan biaya pemupukan 15-20% dari takaran yang berlaku umum tanpa menurunkan hasil (Abdulrachman dan Susanti 2005). Penemuan ini kemudian dipakai sebagai dasar perhitungan penetapan

kebutuhan pupuk N pada Permentan 40/SR.140/04/2007 tentang rekomendasi pemupukan NPK padi sawah spesifik lokasi.

Tingkat hasil panen dari berbagai perlakuan pemupukan NPK (lengkap), NP (tanpa K), NK (tanpa P), dan PK (tanpa N) juga dapat digunakan sebagai dasar penetapan rekomendasi pemupukan *in situ* di wilayah dengan kondisi lingkungan dan teknik budi daya serupa (Abdulrachman *et al.* 2003). Penetapan kebutuhan pupuk dengan cara ini dikenal dengan nama minus satu unsur atau teknik Petak Omisi. Jumlah hara yang tersedia dalam tanah dari berbagai sumber seperti mineral tanah, sisa tanaman, air irigasi, dan fiksasi digunakan sebagai indikator besaran pasokan hara asal tanah pada Petak Omisi (Abdulrachman dan Sembiring 2008). Pasokan hara N asli tanah diukur dari hasil panen pada petak yang diberi pupuk P dan K, tanpa N; pasokan hara asli P tanah diukur dari hasil panen pada petak yang dipupuk N dan K, tanpa P; dan pasokan hara asli K tanah dari hasil panen pada petak yang dipupuk N dan P, tanpa K (Abdulrachman *et al.* 2002). Rekomendasi pupuk disesuaikan dengan tabel petak omisi. Cara ini memberikan arahan bagi petani dalam menentukan dosis penggunaan pupuk pada tanaman padi yang mereka usahakan di lahan sendiri.

Penetapan kebutuhan pupuk P dan K juga dapat diperoleh berdasarkan hasil uji Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS). Hasil uji PUTS berupa rekomendasi pupuk P dan K yang dapat dicocokkan pada skala warna dan dibaca pada tabel rekomendasi. Penggunaan PUTS kemudian diperkuat oleh Permentan No. 40/SR.140/04/2007 tentang rekomendasi pemupukan N, P, dan K pada padi sawah spesifik lokasi. Selain lebih cepat, mudah, murah, dan relatif akurat, penggunaan PUTS juga mampu menghemat kebutuhan pupuk SP36 dan KCl masing-masing hingga 50 kg/ha sehingga meningkatkan pendapatan petani dan

menekan pencemaran lingkungan (Abdulrachman *et al.* 2005).

Waktu dan takaran pupuk N, P, dan K sangat berpengaruh terhadap produktivitas tanaman padi sawah. Berdasarkan penelitian (Buresh *et al.* 2006, Fairhurst *et al.* 2007, Abdulrachman *et al.* 2008b) pemupukan N perlu diberikan 3 kali, yaitu pada stadia awal (0-14 HST), anakan aktif (sekitar 20-25 HST), dan primordia (35-40 HST). Pada stadia awal, takaran pupuk N yang diberikan relatif rendah (sekitar 50 kg urea) sesuai dengan kebutuhan tanaman. Pada stadia anakan aktif dan primordia, takaran pupuk N disesuaikan dengan target hasil realistis yang ingin dicapai dengan menggunakan alat bantu BWD. Ada dua pilihan untuk pemupukan N susulan dengan menggunakan BWD yaitu berdasarkan (1) stadia pertumbuhan dan (2) kebutuhan riil tanaman. Berdasarkan pertumbuhan tanaman, pembacaan warna daun dengan BWD dilakukan pada stadia anakan aktif dan primordia. Sedangkan berdasarkan kebutuhan riil tanaman, takaran pupuk N yang diberikan disesuaikan dengan skala warna daun yang dicocokkan dengan bacaan BWD yang diukur sekitar seminggu sekali mulai dari 20 HST sampai 50 HST (Puslitbang Tanaman Pangan-IRRI 2006).

Pupuk P dan K biasanya diberikan pada stadia awal dengan takaran yang disesuaikan dengan target lokasi dan hasil. Pada lokasi yang kebutuhan hara K-nya tergolong tinggi, jika pupuk K susulan perlu diberikan perlu disesuaikan dengan apakah jerami dikembalikan atau tidak dan juga dipertimbangkan bila kapasitas pasokan hara K relatif rendah (Puslitbang Tanaman Pangan-IRRI 2006a). Dari hal tersebut di atas dapat dianjurkan waktu, target lokasi, dan takaran pupuk yang perlu diberikan pada stadia awal (0-14 HST) seperti tercantum pada Tabel 3. Pemupukan N pada stadia anakan aktif dan primordia dianjurkan dengan berpedoman pada bacaan BWD.

Tabel 3. Anjuran pemupukan padi sawah pada stadia awal (umur 0-14 hari), target produktivitas, dan takaran pupuk N, P, dan K.

Pupuk (0-14 HST)	Target lokasi	Takaran pupuk (kg/ha)			
		Target hasil (GKG)			
		»5 t/ha	»6 t/ha	»7 t/ha	»8 t/ha
N (urea)	Semua lokasi	20-25 (45-55)	25-30 (55-65)	30-40 (65-90)	40-50 (90-110)
P ₂ O ₅ (SP36)	Lima musim terakhir lahan diberi pupuk >30 kg P ₂ O ₅ /ha/musim	20-25 (60-70)	25-30 (70-85)	30-35 (85-100)	35-40 (100-110)
P ₂ O ₅ (SP36)	Lima musim terakhir, lahan diberi pupuk <30 kg P ₂ O ₅ /ha/musim	25-35 (70-100)	35-40 (100-110)	40-50 (110-140)	50-60 (140-165)
K ₂ O (KCl)	Pasokan K tanah relatif rendah	20-30 (30-50)	30 (50)	30-40 (50-65)	30-40 (50-65)
K ₂ O (KCl)	Pasokan K tanah relatif tinggi, dan jerami dikembalikan	0	10 (15-20)	15-20 (25-30)	25-30 (40-50)
ZA	Di lokasi kahat sulfur (S)	75	100	100	100-125

Anjuran pemupukan padi sawah tersebut telah disebarluaskan melalui bahan cetakan, CD, dan akhir-akhir ini dapat diakses melalui internet, telpon pintar (*smart phone*), dan telpon genggam konvensional dengan menjawab sejumlah pertanyaan kunci (Buresh *et al.* 2012). Perbaikan terus dilakukan sesuai dengan perkembangan yang terjadi, baik dari segi teknis maupun kemudahan penggunaan. Pada awalnya, misalnya, rekomendasi pemupukan ini ditujukan untuk individu petani yang lahannya mungkin terletak di dua atau lebih blok yang berbeda sehingga anjuran pemupukannya pun bisa berbeda. Selain itu pengamatan lapang juga menunjukkan bahwa meski terletak dalam satu hamparan, kondisi masing-masing lahan sawah petani bisa berbeda karena penerapan pola tanam, kecukupan air, dan pengelolaan tanaman seperti pemupukan dan pengembalian jerami yang berbeda. Hal ini membuat rekomendasi berdasarkan analisis tanah yang mewakili hamparan luas menjadi kurang efektif.

Meski demikian, perkembangan selanjutnya menunjukkan bahwa sempitnya pemilikan lahan petani, terutama di Jawa, mendorong timbulnya upaya agar rekomendasi dapat digunakan untuk suatu kelompok tani dalam satu hamparan dengan kesuburan tanah yang relatif seragam, penggunaan varietas yang sama, dan pengelolaan tanaman yang relatif sama. Hal ini dinilai akan lebih meringankan kerja penyuluh dalam membantu petani untuk mendapatkan rekomendasi pemupukan yang akurat (Buresh *et al.* 2012).

Rekomendasi pemupukan yang dapat diakses melalui <http://webapps.irri.org/nm/id> ini didukung oleh pangkalan data (*data base*) yang lengkap dan selalu diperbarui (*update*), termasuk hasil penelitian petak omisi (minus satu unsur hara) dari 280 lokasi di Jawa dan luar Jawa dan daftar varietas unggul baru (Puslitbang Tanaman Pangan-IRRI 2012). Oleh karena itu setiap jawaban dari pertanyaan yang diajukan melalui situs ini secara otomatis diproses melalui bank data yang tersedia. Rekomendasi PHSL segera dapat diperoleh yang dapat dilihat di komputer atau *smart phone*. Rekomendasi melalui telpon biasa akan keluar dalam bentuk sms setelah pengguna selesai menjawab semua pertanyaan yang diajukan.

Di antara pertanyaan kunci yang perlu dijawab oleh pengguna yang mengakses PHSL melalui internet adalah: (i) lokasi dan ketinggian tempat atau altitude, (ii) frekuensi tanam per tahun, (iii) musim tanam untuk rekomendasi PHSL, (iv) sumber air sawah, (v) cara tanam, tanam pindah atau tabela; umur bibit pada tanam pindah, (vi) varietas yang ditanam, (vii) informasi penggunaan peta atau PUTS untuk status hara P dan K, (viii) tingkat hasil yang biasa dicapai pada musim bersangkutan, (ix) hasil panen musim sebelumnya, (x) tinggi tunggul jerami yang tersisa di sawah, (xi) ketersediaan air selama pertumbuhan tanaman, (xii) penggunaan pupuk organik

komersial, (xiii) penggunaan pupuk kandang dan atau bahan organik lainnya, (xiv) penggunaan bagan warna daun-BWD, dan (xv) pupuk majemuk yang akan digunakan (Puslitbang Tanaman Pangan-IRRI 2012). Setiap pertanyaan dilandasi oleh kaidah ilmiah yang mengacu kepada hasil penelitian. Musim tanam, misalnya, berkaitan dengan lebih tingginya hasil panen di musim kemarau daripada di musim hujan. Penelitian Yang *et al.* (2008) menyimpulkan bahwa hasil panen di musim kemarau nyata lebih tinggi daripada musim hujan. Penelitian mereka menunjukkan bahwa hasil padi musim kemarau tahun 2003 dan 2004, berturut-turut 94% dan 35% lebih tinggi daripada hasil musim hujan. Tingginya hasil di musim kemarau disebabkan oleh radiasi yang tinggi. Rata-rata radiasi harian dan akumulasi biomas sepanjang stadia pemasakan serta efisiensi produksi *sink* per unit biomas merupakan faktor kritis atas terjadinya senjang hasil antara musim kemarau dan musim hujan pada pertanaman padi intensif tropis.

Pertanyaan untuk telpon genggam (HP) dihadapkan kepada masalah pemilihan pertanyaan yang harus singkat karena dari beberapa uji coba, semakin banyak pertanyaan semakin lama waktu yang diperlukan untuk komunikasi. Dalam beberapa hal, pertanyaan harus diulang karena kurang jelas bagi petani, sementara faktor sinyal juga menjadi masalah tersendiri. Oleh karena itu, hasil rekomendasi PHSL melalui telpon genggam tidak seakurat melalui website atau telpon pintar, dan hanya berlaku pada kondisi (i) sawah dataran rendah, (ii) pola tanam petani dua kali setahun, (iii) varietas yang ditanam adalah non-hibrida yang berumur sama dengan Ciherang dan IR64, (iv) umur bibit sekitar 21 hari, dan (v) tinggi sisa tunggul jerami adalah sekitar 25 cm (Puslitbang Tanaman Pangan-IRRI 2012).

Abdulrachman *et al.* (2011, 2012) telah melakukan verifikasi terhadap *software* PHSL yang diakses melalui internet dan HP di dua kabupaten di Jawa Barat dan tiga kabupaten di DIY. Hasil verifikasi tersebut adalah:

1. *Software* PHSL untuk penentuan dosis pupuk N, P dan K berdasarkan target produktivitas pada tanaman padi tergolong akurat dan dapat diandalkan dengan tingkat ketercapaian rata-rata >100%. Di Kabupaten Bantul, tingkat ketercapaian berkisar antara 83,4-121,2%; di Kabupaten Kulonprogo 78,8-116,1%; Kabupaten Subang 96,9-126,8%; dan Kabupaten Karawang 96,9-119,6%.
2. Efisiensi agronomi yang diperoleh mencapai >10 kg gabah/kg pupuk N yang digunakan dengan kisaran 7-35 kg/kg.
3. Terjadinya variasi capaian hasil dan efisiensi N tersebut bukan diakibatkan oleh faktor pengelolaan pupuk, tetapi oleh perbedaan teknik budi daya petani,

seperti penggunaan varietas, cara tanam maupun perbedaan lokasi penanaman (kesuburan lahan).

Validasi PHSL web yang diselenggarakan pada tahun 2011-2012 oleh Badan Litbang Pertanian dan IRRI, yang melibatkan Balai Pengkajian Teknologi Pertanian di 10 provinsi mengungkapkan keunggulan PHSL dibandingkan pemupukan yang dipraktikkan oleh petani (Buresh 2014). Kesimpulan dari kajian tersebut untuk MK 2012, antara lain adalah:

- Penggunaan pupuk N dan P melalui PHSL umumnya lebih rendah daripada takaran yang dipakai petani. Di Jawa Barat, Bali, dan Kalimantan Barat petani menggunakan pupuk K lebih tinggi daripada PHSL, di lokasi lainnya terjadi sebaliknya.
- Pada stadia awal, PHSL merekomendasikan penggunaan pupuk sekitar 30% dari total N, sementara petani umumnya menggunakan takaran yang lebih tinggi.
- Pada stadia primordia, PHSL menerapkan penggunaan 35% dari total pupuk N sesuai dengan kebutuhan tanaman sedangkan petani umumnya memberikan pupuk dalam takaran yang lebih rendah.
- Dari uji petak omisi yang dilakukan di 12 provinsi, dapat disimpulkan bahwa penggunaan pupuk P menaikkan hasil sekitar 8%. Peningkatan produktivitas tanaman lebih besar pada lahan sawah tadah hujan (17%) daripada lahan sawah irigasi (7%). Di sisi lain, pemberian pupuk K menaikkan hasil padi sekitar 9% dengan peningkatan yang lebih besar di lahan sawah tadah hujan (22%) daripada di lahan sawah irigasi (7%).
- Secara keseluruhan, hasil padi dengan menggunakan rekomendasi PHSL memberikan hasil rata-rata sekitar 7,0 t/ha di Jawa, 5,9 t/ha di lahan irigasi luar Jawa, dan 5,0 t/ha di lahan sawah tadah hujan luar Jawa. Hasil rata-rata pemupukan cara petani adalah sekitar 6,9 t/ha di Jawa, 5,2 t/ha di lahan irigasi luar Jawa dan 4,6 t/ha di lahan sawah tadah hujan luar Jawa.
- Dengan peningkatan hasil panen dan penggunaan pupuk yang lebih rendah, pendapatan petani dari cara PHSL meningkatkan pendapatan petani sekitar US\$ 77-283 (US\$ 1.00 = Rp 10.000).

Anjuran pemupukan berdasarkan PHSL telah menjadi salah satu komponen dasar atau utama dalam program PTT (Pengelolaan Tanaman Terpadu) yang dikembangkan oleh Badan Litbang Pertanian dan Direktorat Jenderal Pertanian Tanaman Pangan (Abdulrachman *et al.* 2007, Ditjenta 2012). PTT merupakan suatu pendekatan inovatif dan dinamis dalam upaya meningkatkan produksi dan pendapatan petani melalui perakitan komponen teknologi

secara partisipatif bersama petani (Pane *et al.* 2004, Zaini *et al.* 2009). Komponen dasar PTT meliputi (i) varietas unggul baru, inbrida atau hibrida), (ii) benih bermutu, (iii) pemberian bahan organik melalui pengembalian jerami ke sawah, (iv) pengaturan populasi tanaman secara optimum, (v) pemupukan berdasarkan status hara tanah dan kebutuhan tanaman, dan (vi) pengendalian hama/penyakit secara terpadu (PHT). Komponen lainnya yang merupakan pilihan (optional) mencakup (i) Pengolahan tanah sesuai musim dan pola tanam, (ii) penggunaan bibit muda (<21 hari), (iii) tanam bibit 1-3 per rumpun, (iv) pengairan secara efektif dan efisien, (v) penyiangan dengan landak atau gasrok, dan (v) panen tepat waktu dan gabah segera dirontok. Pendekatan PTT telah diadopsi oleh Direktorat Jenderal Tanaman Pangan sejak 2008 dan diimplementasikan dalam bentuk Sekolah Lapang PTT (SL-PTT) padi sawah seluas 1,8 juta hektar pada tahun 2008 dan terus berkembang menjadi 3,0 juta hektar pada tahun 2013. Pada tahun 2014, pengembangan SL-PTT padi sawah direncanakan seluas 3,4 juta ha (Ditjenta 2014).

Selain pendekatan PTT, Badan Litbang Pertanian juga melepas SIPADI (Sistem Pakar Budi Daya Padi) versi 3,0 yang merupakan alat bantu penyusunan paket teknologi budi daya padi spesifik lokasi yang dioperasikan dengan komputer (Makarim 2008). Dengan sistem pakar ini dapat diperoleh anjuran pemakaian jenis dan takaran pupuk yang efisien. Selain itu, anjuran teknik budi daya padi spesifik lokasi lainnya, seperti penggunaan varietas yang cocok, pengelolaan benih, jarak tanam, dan umur bibit juga dapat diperoleh melalui sistem ini. Demikian pula halnya dengan perkiraan hasil dan keuntungan yang akan diperoleh dari penerapan teknologi budi daya padi spesifik lokasi setelah memasukkan data yang diperlukan. Validasi SIPADI 3,0 perlu dilakukan agar lebih meyakinkan pengguna untuk menerapkan di lapang.

TANTANGAN ANJURAN PEMUPUKAN

Anjuran pemupukan N, P, dan K di tingkat petani telah mengalami perkembangan sesuai dengan kemajuan teknologi dan program pemerintah. Ketika petani masih menggunakan varietas lokal dan unggul lama yang berumur panjang dan kurang tanggap terhadap penggunaan pupuk, pupuk N seperti urea atau ZA (ammonium sulfat) dengan takaran rendah (20-40 kg N/ha) sudah dinilai mencukupi. Pada saat upaya peningkatan produksi dan produktivitas padi semakin mendapat perhatian pemerintah, penggunaan pupuk P dan K mulai dianjurkan untuk melengkapi penggunaan pupuk N. Hal ini terlihat dari uji lapang yang cukup ekstensif pada saat pra-BIMAS (Fagi *et al.* 1987).

Penerapan varietas unggul baru yang diawali oleh PB5 dan PB8 yang tanggap akan pemupukan dalam program intensifikasi telah mendorong keluarnya anjuran pemupukan N, P, dan K dalam takaran yang lebih tinggi. Rekomendasi pemakaian pupuk urea pada tahun 1970an adalah 100-150 kg/ha, kemudian meningkat menjadi 200-250 kg/ha dan pada tahun 1990an, lalu dewasa ini naik menjadi 300-350 kg/ha (Abdulrachman 2010). Meski demikian, penggunaan pupuk N di tingkat petani sering melebihi takaran yang dianjurkan. Fagi *et al.* (1987) melaporkan bahwa di sekitar lokasi uji lapang efisiensi pemupukan di Jawa Timur, petani menggunakan urea 350-400 kg/ha karena harga pupuk urea subsidi yang murah dan pengaruh perlombaan produktivitas padi yang gencar digaungkan pada waktu itu. Takaran P dan K yang dianjurkan sejak masa itu adalah 30-60 kg P_2O_5 /ha dan 30-50 kg K_2O /ha (Abdulrachman *et al.* 2009).

Anjuran pemupukan padi sawah per kecamatan berdasarkan Permentan tahun 2007 terlihat sudah mempertimbangkan pengembalian jerami sebesar 5 t/ha dan pupuk kandang 2 t/ha. Pupuk organik komersial mungkin sulit dimasukkan dalam rekomendasi ini karena begitu banyak ragamnya dan sebagian tidak jelas kandungan haranya. Rekomendasi Permentan ini masih disusun dalam bentuk pupuk tunggal sehingga rekomendasi dalam bentuk pupuk majemuk tampaknya perlu segera dikeluarkan. Luasnya rekomendasi yang mencakup satu kawasan kecamatan (>250 ha) yang menyebabkan adanya variabilitas lahan juga sudah diantisipasi dalam Permentan ini. Oleh karena itu terlihat ada keterangan kemungkinan takaran pupuk yang diperlukan (terutama untuk P dan K) lebih rendah dari yang tercantum bagi lokasi tertentu di dalam kecamatan yang bersangkutan (Permentan 2007).

Dari perkembangan terakhir anjuran pemupukan melalui PHSL tampak bahwa faktor variabilitas lahan di satu hamparan sudah diantisipasi yang antara lain berkaitan dengan pola tanam dan pengelolaan pertanaman yang mungkin saja berbeda antar petani serta kecenderungan kekurangan dan kelebihan air yang berkaitan dengan topografi dan letak sumber air (Buresh 2006). Oleh karena itu, anjuran pemupukan yang dihasilkan sudah lebih mengarah ke spesifik lahan setiap petani dengan pengelolaan yang spesifik pula, meski bisa juga dalam satu hamparan yang relatif homogen.

Rekomendasi pemupukan melalui PHSL dapat diperoleh, baik dengan maupun tanpa alat bantu peta status hara, PUTS, dan/atau bagan warna daun. Hal ini tentu saja meringankan kerja penyuluhan dalam membantu petani untuk menerapkan PHSL di sawah masing-masing. Upaya penerapan rekomendasi ini memerlukan dukungan yang lebih besar dan luas dari

aparatus di daerah. Meski demikian hal berikut perlu mendapat perhatian lebih lanjut:

- Dengan menggunakan rekomendasi PHSL, adakalanya pupuk majemuk tertentu (takaran pupuk N tinggi, takaran P dan K rendah) tidak dapat diterapkan karena tidak proporsionalnya takaran pupuk N, P, K dari produk tersebut. Apabila tetap dipakai, untuk memenuhi kebutuhan P dan K, misalnya pada lahan yang kandungan hara P dan K nya rendah dan atau jerami tidak dikembalikan ke sawah, takaran pupuk N akan sangat tinggi melebihi takaran anjuran. Hal ini dapat membuat tanaman menjadi lebih rentan terhadap serangan hama dan penyakit (Suprihatno *et al.* 2008). Sebaliknya, dengan hanya memenuhi kebutuhan N tanaman, akan terjadi kekurangan hara P dan K. Kahat P dapat meningkatkan jumlah gabah hampa, menurunkan berat dan kualitas gabah, serta menghambat pemasakan (Fairhurst *et al.* 2007). Selain itu tanggap tanaman terhadap pupuk N juga akan berkurang dan meningkatkan kadar Fe yang dapat meracuni tanaman (Abdulrachman dan Sembiring 2006). Kahat K, selain menurunkan proses metabolisme tanaman juga akan menyebabkan tanaman lebih rentan terhadap serangan hama dan penyakit (Sudir *et al.* 2002, Wihardjaka *et al.* 2002, Toha *et al.* 2002). Fagi *et al.* (2003) menekankan bahwa untuk tanah ultisol seperti di Sukamandi, pupuk K perlu terus diberikan karena air irigasi yang berasal dari waduk Jatiluhur ditengarai mengandung Ca tinggi yang menyebabkan Ca^{+} akan menggeser K^{+} dari kompleks absorpsi dan hilang oleh pencucian.
- Di sisi lain, beberapa penelitian pemupukan jangka panjang menunjukkan bahwa pemupukan P dan K tidak perlu diberikan setiap musim di lahan sawah intensif (Fagi *et al.* 2003, Abdulrachman dan Sembiring 2006). Penelitian sebelumnya di Jawa menunjukkan bahwa status P tanah rendah telah berkurang dari 33,8% tahun 1974 menjadi 14,9% pada tahun 1988 sedangkan status P sedang sampai tinggi naik dari 66,2% menjadi 85,1% pada periode yang sama (Fagi *et al.* 2003). Dengan pemberian P dan K yang relatif tinggi sejak periode tersebut, bisa diduga bahwa status hara P sedang sampai tinggi sudah akan lebih mendominasi lahan sawah di Jawa.
- Kepemilikan lahan yang sempit, terutama di Jawa (0,25-0,50 ha), menyebabkan petani tidak begitu merasa rugi memberikan pupuk berlebihan, apalagi harga pupuk subsidi tergolong murah. Padahal pemberian pupuk N pada lahan sawah meningkatkan emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 28% dari 254 g menjadi 326 g N_2O /ha/musim (Mulyadi *et al.* 1999).

Apabila pemberian pupuk N mengikuti konsep PHSL maka emisi gas rumah kaca (metana atau CH₄) dapat ditekan (Setyanto *et al.* 1999).

- Sistem jual tebas juga mendorong petani untuk mengusahakan agar tanaman terlihat hijau subur sepanjang pertanaman dengan memberikan pupuk secara berlebihan. Dengan demikian petani akan memperoleh harga jual tinggi kepada penebas.
- Kajian tentang pupuk majemuk lambat urai (Gani 2009) perlu pula mendapat perhatian di masa depan. Penggunaan pupuk majemuk yang dapat lebih efisien, baik dalam takaran maupun dalam waktu penggunaan tentu akan membantu petani untuk menekan biaya tanpa mengorbankan hasil panen.

KESIMPULAN

Pemupukan N, P, dan K telah merupakan salah satu aspek penting dalam upaya peningkatan produktivitas dan produksi tanaman padi. Pada saat padi sawah ditanam dengan varietas lokal atau unggul lama yang berumur panjang dan kurang tanggap akan pemupukan, anjuran pemupukan N dalam takaran rendah (2-40 kg N/ha) dinilai sudah mencukupi. Dengan diadopsinya varietas unggul baru yang berumur lebih genjah dan tanggap terhadap pemupukan, anjuran takaran pupuk N yang dianjurkan pun meningkat yang disertai oleh pupuk P dan K.

Pada awalnya anjuran pemupukan padi sawah masih bersifat umum lalu berkembang menjadi kawasan yang lebih kecil dan terakhir lebih spesifik lokasi untuk masing-masing sawah petani melalui rekomendasi PHSL. Perkembangan ini berkaitan erat dengan pendekatan G x E x M yang menekankan bahwa produktivitas tanaman ditentukan oleh faktor genotype (dalam hal ini varietas tanaman), lingkungan yang antara lain mencakup musim dan tinggi tempat, serta manajemen atau pengelolaan tanaman seperti pemupukan dan pengairan.

Anjuran pemupukan melalui PHSL yang mempertimbangkan ketersediaan hara alami, kebutuhan tanaman, dan tingkat hasil realistis yang ingin dicapai, dapat diakses melalui internet dengan komputer dan smartphone serta telpon biasa. Anjuran ini dapat digunakan baik dengan atau tanpa penggunaan alat bantu seperti peta status hara, PUTS, dan bagan warna daun.

Dengan meluasnya penggunaan pupuk majemuk NPK, anjuran pemupukan yang dihasilkan secara langsung melibatkan penggunaan ketiga hara tersebut dengan pertimbangan keseimbangan hara yang dibawa keluar dan yang diberikan untuk pemeliharaan kesuburan tanah. Di sisi lain, penelitian pemupukan jangka panjang

di beberapa lokasi menunjukkan bahwa di lahan sawah sawah intensif, pupuk P dan K tidak perlu diberikan setiap musim. Hal ini perlu kajian lebih lanjut untuk memberikan anjuran yang lebih tepat guna bagi petani.

Meski sebagian petani sudah menerapkan efisiensi pemupukan melalui PTT (pengelolaan tanaman terpadu), pengamatan lainnya menunjukkan bahwa petani menggunakan pupuk, terutama pupuk N, dalam takaran yang lebih tinggi dari anjuran. Hal ini diperkirakan berkaitan dengan faktor kepemilikan lahan yang sempit dan harga pupuk subsidi yang relatif murah. Selain itu, waktu pemberian pupuk yang tepat sesuai kebutuhan tanaman juga belum mendapat perhatian yang memadai dari sebagian petani.

Untuk mewujudkan penerapan PHSL yang efektif perlu dukungan kesiapan dan ketepatan pengadaan sarana yang meliputi pupuk maupun alat bantu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrachman S, Agustiani N, Gunawan I, dan Mejaya MJ. 2012a. Sistem Tanam Legowo. BB Padi. 22 hlm.
- Abdulrachman S, Agustiani N, Suhana dan Syarifah I. 2013. Penyesuaian Teknologi Budidaya Padi Inbrida Untuk Mencapai Potensi Hasil Tinggi. 2013. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 35 hlm
- Abdulrachman S. 2004. Pelandaian Produksi Padi: Fenomena Pemupukan Jangka Panjang. Berita Puslitbangtan 30(10): 11-12.
- Abdulrachman S. 2004. Site-Specific Nutrient Management of Irrigated Rice. Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan 2: 1-10.
- Abdulrachman S. 2008a. Evaluasi Sifat Agronomis Pemakaian Pupuk NPK Kujang Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi. Bulletin Berkala Pupuk 2(4-5): 4-10.
- Abdulrachman S. 2008b. Pemupukan Nitrogen Padi Sawah Melalui *Fixed Time* dan *Real Time* Pada Sistem Tanam Benih Langsung dan Tanam Pindah. Prosiding Seminar Apresiasi Hasil Penelitian Padi Menunjang P2BN. BB Padi. Buku 1: 73-87.
- Abdulrachman S. 2010. Perkembangan Pemupukan Padi. APPI. Bulletin Berkala Pupuk 1(1): 4-9.
- Abdulrachman S., I.P. Wardana, H. Sembring, dan I.N. Widiarta. 2007. Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) Padi Sawah Irigasi. Petunjuk Teknis Lapang. Badan Litbang Pertanian. 40 hal.
- Abdulrachman S., N. Agustiani dan I. Syariwah. 2012. Verifikasi dan Evaluasi Penetapan Kebutuhan Pupuk by Phone pada Tanaman Padi. BB Padi. 24 hal.

- Abdulrachman S., N. Agustiani dan Widyantoro. 2011. Verifikasi dan Evaluasi PHSL Untuk Penetapan Kebutuhan Pupuk pada Tanaman Padi. *BB Padi*. 22 hal.
- Abdulrachman S., Z. Susanti dan Suhana. 2004. Efisiensi Penggunaan Pupuk pada Tanaman Padi Selama Dua Musim Berturut-turut. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 23(2): 65-72.
- Abdulrachman, S. dan H. Sembiring. 2006. Penentuan Takaran Pupuk Fosfat untuk Tanaman Padi Sawah. *IPTEK Tanaman Pangan* 1 (1):79-87.
- Abdulrachman, S., E. Suhartatik, A. Kasno, dan D. Setyorini. 2008. Modul Pemupukan Padi Sawah Spesifik Lokasi. Kerjasama Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian dan International Rice Research Institute. 34 p.
- Adiningsih S., J. Moersidi S., Sudjadi M. dan A.M. Fagi. 1989. Evaluasi Keperluan Fosfat pada Lahan Sawah Intensifikasi di Jawa. *Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk*. Pusat Penelitian Tanah. Hal. 63-89.
- Balasubramanian V., A.C. Morales and S. Abdulrachman. 2000. Adaptation of the Chloophyll meter (SPAD) Technology for Real-time N Management in Rice: A Review. *International Rice Research Notes* 25(1) 4-8.
- Buresh R.J., Z. Zaini, M. Syam, S. Kartaatmadja, Suyanto, R. Castillo, J. dela Torre, P.J. Sinohin, S.S. Girsang, A. Thalib, Z. Abidin, B. Susanto, M. Hatta, D. Haskarini, R. Budiono, Nurhayati, M. Zairin, H. Sembiring, M.J. Mejaya, and V. Bruce J Tolentino. 2012. Nutrient Manager for Rice: A Mobile Phone and Internet Application Increases Rice Yield and Profit in Rice Farming. *ICRR*. 14 p.
- Buresh, R. J. 2014. Best management practices in rice. *IFA Seminar, Jakarta*, 23 April 2014. *International Rice Research Institute*, 34 p.
- Buresh, R. J., D. Setyorini, S. Abdulrachman, F. Agus, C. Witt, I. Las, S. Hardjosuwirjo. 2006. Improving nutrient management for irrigated rice with particular consideration to Indonesia. *In* Sumarno, Suparyono, A. M. Fagi, M. O. Adnyana (eds). *Rice Industry, Culture, and Environment*. Proceedings of the International Rice Conference, 12-14 September 2005, Bali, Indonesia. Book 1. p 165-178.
- Cassman KG, and Pingali PL. 1994. Extrapolating Trends from Long-term Experiments to Farmers Fields: The Case of Irrigated Rice Systems in Asia. *In*: Barnett *et al.* (Ed.) *Agricultural Sustainability in Economic, Environmental and Statistical Terms*. John Wiley & Son, Ltd., London. (inpress).
- Ditjentan. 2012. Pedoman Umum Sekolah Lapang Pengelolaan Tanaman Terpadu (SL-PTT). Direktorat Tanaman Pangan, Kementerian Pertanian. 17 hal.
- Ditjentan. 2014. Skenario Sasaran Produksi Padi Tahun 2014. Direktorat Tanaman Pangan, Kementerian Pertanian. 12 hal.
- Dobermann A., C. Witt, S. Abdulrachman, H.C. Gines, R. Nagarajan, T.T. Son, P.S. Tan, G.H. Wang, N.V. Chien, V.T.K. Thoa, C.V. Phung, P. Stalin, P. Muthukrishnan, V. Ravi, M. Babu, S. Chatuporn, M. Kongchum, Q. Sun, R. Fu, G.C. Simbahan, and M.A.A. Adviento. 2002a. Site-Specific Nutrient Management for Intensive Rice Cropping Systems in Asia. *Field Crops Res.* 74:37-66.
- Fagi, A. M., C. P. Mamaril, dan M. Syam. 2009. Revolusi Hijau: Peran dan Dinamika Lembaga Riset. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi dan International Rice Research Institute. 34 p.
- Fagi, A. M., H. Taslim, and M. Sudjadi. 1987. Efficiency of Nitrogen Fertilizers for Rice. *Proceedings of the International Network on Soil Fertility and Fertilizer Evaluation for Rice*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. p. 235-243.
- Fagi, A. M., I. Las, M. Syam, A. K. Makarim, dan Suwandi. 2003. Penelitian Padi Menuju Revolusi Hijau Lestari. Balai Penelitian Tanaman Padi, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 68 p.
- Fairhurst, T., C. Witt, R. Buresh, dan A. Dobermann. 2007. Padi: Panduan Praktis Pengelolaan Hara. International Rice Research Institute, International Plant Nutrition Institute, and International Potash Institute. Edisi kedua. 96 p.
- Gani, A. 2009. Keunggulan Pupuk Majemuk NPK Lambat Urai untuk Tanaman Padi Sawah. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 28(3): 148-157.
- Guanghuo W., A. Dobermann, C. Witt, Q. Sun and R. Fu. 2001. Performance of Site-Specific Nutrient Management for Irrigated Rice in Southeast China. *Agron. Journal* 93(4): 869-878.
- Hamdani M, Wahab A, Azis M, dan Suherman O. 1996. Usahatani Sistem Legowo dan Tandur Jajar di Areal SUTPA Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. *Prosiding Seminar Regional Pengkajian Teknologi Pertanian Spesifik Lokasi*. BPTP Kendari. Buku 2. 25-32.
- Ismunadji, M dan S. Roechan. 1988. Hara Mineral Tanaman Padi. Dalam Ismunadji, M., S. Partohardjono, M. Syam, dan A. Widjono (eds.) *Padi Buku 1*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor. p.231-270.

- Johnston A.M., H.S. Khurana, K. Majumdar and T. Satyanarayana. 2009. Site-Specific Nutrient Management - Concept, Current Research and Future Challenges in Indian Agriculture. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 57: 1-10.
- Juliardi I. 1995. Evaluasi Tingkat Kesuburan Tanah dan Laju Pertumbuhan Padi pada Pemupukan Jangka Panjang. Balittan Sukamandi. 21 hlm.
- Juliardi I., S. Abdulrachman, S. Rochman, dan H.M. Toha. 2000. Pemberian Nitrogen pada Tanaman Padi Berdasarkan Status Klorometri Daun. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 19(2): 21-30.
- Kirkegaard, J.A. and J.R. Hunt. 2010. Increasing productivity by matching farming system management and genotype in water-limited environments. *Journal of Experimental Botany*: 1-15.
- Khurana, H.S., S.B. Phillips, A. Dobermann, A.S. Sidhu, and S. Peng. 2007. Performance of Site-Specific Nutrient Management for Irrigated, Transplanted Rice in Northwest India. *Agronomy Journal* 99(6):1436-1447.
- Ladha, J.K., S. Miyan, and M. Garcia. 1989. *Sesbania rostrata* as a green manure for lowland rice: growth, N₂ fixation, *Azorhizobium* sp inoculation, and effects on succeeding crop yields and nitrogen balance. *Biol Fertil Soils* 7: 191-197.
- Lembaga Pusat Penelitian Pertanian. Laporan Tahunan 1979/80. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Makarim, A. K. 2008. SIPADI Versi 3,0, Sistem Pakar Budi Daya Padi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor. 15 hal.
- Makarim, A. K. dan E. Suhartatik. 2006. Budi Daya Padi dengan Masukan In Situ Menuju Perpadian Masa Depan. *IPTEK Tanaman Pangan* 1(1): 19-29.
- Moersidi J.S., Prawirasumantri, W. Hartatik, A. Pramudia, dan M. Sudjadi. 1991. Evaluasi Kedua Keperluan Fosfat pada Lahan Sawah Intensifikasi di Jawa. *Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk*. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Hal 209-221.
- Mulyadi, Prayitno, Sasa IJ, Partohardjono S. 1999. Pola Emisi Gas N₂O pada Perlakuan Pupuk N Lambat Urai di Lahan Sawah Irigasi. *Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah*. Puslitbangtan. hlm. 20-27.
- Nataatmadja, H., D. Kertosastro, dan A. Suryana. 1988. Perkembangan Produksi dan Kebijakan Pemerintah dalam Produksi Beras. Dalam Padi, Buku 1 (Ismunadji et al. eds). Puslitbang Tanaman Pangan, hal 37-53.
- Oik DC, Cassman KG and Fan TWM. 1995. Characterization of Two Humic Acid Fractions From a Calcareous Vermiculitic Soil: Implication for The Humification Process *Geoderma* 65: 195-208.
- Pane H.; Abdulrachman, S.; Poerboyo, I.; Prayitno; Las, I. 2004. Peningkatan Hasil Padi Gogorancah Melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman dan Sumberdaya Terpadu. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 5(12): 1-21.
- Partohardjono, S., B. S. Soepardi, and A. CMunandar. 1981. Effect of Orinary Urea, Granular Urea, Sulphur Coated Urea, and Urea Briquet on the Yield of PB26 Lowland Rice. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 1(1): 10-12.
- Partohardjono, S., A. M. Fagi, and M. Ismunadji. 1983. Fertilizer management practice and research on soil fertility and fertilizer use on lowland rice in Indonesia. In *Proceedings of the INSFER workshop in Indonesia*.
- Puslitbang Tanaman Pangan-IRRI 2006. Pemupukan spesifik lokasi. Pendekatan penggunaan pupuk secara optimal pada padi sawah. 4 hal.
- Puslitbang Tanaman Pangan-IRRI. 2006a. Pemupukan Padi Sawah berdasarkan Target Hasil. *Kerjasama Puslitbang Tanaman Pangan dan International Rice Research Institute*. 4 hal.
- Puslitbang Tanaman Pangan-IRRI 2012. Penduan Pemupukan Padi Sawah melalui Internet dan HP. *Kerjasama Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan dan International Rice Research Institute*. 58 hal.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan 1989. Laporan Tahunan 1987/88. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Satyanarayana T., K. Majumdar and D.P. Biradar. 2011. New Approaches and Tools for Site-Specific Nutrient Management With reference to Potassium. *Karnataka J. Agric. Sci.* 24(1): 86-90.
- Setyanto P, Suharsih, Wihardjaka A, dan Makarim AK. 1999. Pengaruh Pemberian Pupuk Anorganik Terhadap Emisi Gas Metana pada Lahan Sawah. *Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah*. Puslitbangtan. Hlm. 36-43.
- Sofyan A., Nurjaya dan A. Kasno. 2004. Status Hara Tanah Sawah Untuk Rekomendasi Pemupukan. *Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Hal 84-114.

- Sudir, Suprihanto, dan K. Pirngadi. 2002. Pengaruh Cara Pengolahan Tanah dan Pemupukan terhadap Intensitas Penyakit dan Hasil Padi di Lahan Sawah Tadah Hujan. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 21 (2): 30-35.
- Suprihanto A, Guswara dan Satoto. 2008. Pengaruh Dosis Pupuk Nitrogen Terhadap Beberapa Penyakit pada Varietas Padi Hibrida. *Prosiding Seminar Nasional Padi. Inovasi Teknologi Padi Mengantisipasi Perubahan Iklim Global Mendukung Ketahanan Pangan*. BB Padi. hlm. 443-451.
- Taslim H, Partohardjono S, dan Subandi. 1989. Pemupukan Padi Sawah. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Padi Buku 2: 445-480*.
- Toha, H. M., A. K. Makarim, dan S. Abdulrachman. 2001. Pemupukan NPK pada varietas IR64 di Musim Ketiga Pola Indeks Pertanaman Padi 300. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 20(1): 40-49.
- Toha, H.M., K. Permadi, dan S.J. Munarso. 2002. Pengaruh Pemberian Pupuk Kalium dan Nitrogen terhadap Hasil Padi dan Mutu Beras Varietas IR64. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 21(1): 17-25.
- Venkataraman A. 1984. Development of Organic Matter-based Agricultural Systems in South Asia. *Organic Matter and Rice*. IRRI: 57-70.
- Virgilius, H., S. Partohardjono, dan M. Bastaman. 1981. *Azolla pinnata*: Alternatif Sumber Hara Nitrogen serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan dan Hasil Padi. *Jurnal Penelitian Pertanian* 1(1): 5-9.
- Wang, G., A. Dobermann, C. Witt, Q. Sun, and R. Fu. 2001. Performance of Site-Specific Nutrient Management for Irrigated Rice in Southeast China. *Agronomy Journal* 93(4): 869-878.
- Wihardjaka, A, K. Idris, A. Rachim, dan S. Partohardjono. 2002. Pengelolaan Jerami dan Pupuk Kalium pada Tanaman Padi di Lahan Sawah Tadah Hujan Kahat K. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 21(1): 26-32.
- Yang, W., Shaobing Peng, Rebecca C. Laza, Romeo M. Visperas, and Maribel L. Dionisio-Sese. 2008. Yield Gap Analysis between Dry and Wet Season Rice Crop Grown under High-Yielding Management Conditions. *Agronomy Journal* 100(5): 1390-1395.
- Zaini, Z. 2012. Pupuk Majemuk dan Pemupukan Hara Spesifik Lokasi pada Padi Sawah. *IPTEK Tanaman Pangan* 7(1): 1-7.