

Status ketersediaan makronutrisi (N, P, dan K) tanah sawah dengan teknik dan irigasi tadah hujan di kawasan industri Karanganyar, Jawa Tengah

The availability status of macronutrients (N, P, and K) of paddy soil with technical and rainfed irrigation in Karanganyar industrial area, Central Java

PRAMUDA SAKTI*, PURWANTO, SLAMET MINARDI, SUTOPO

Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret. Jl. Ir. Sutami 36a, Surakarta 57126, Jawa Tengah.

Manuskrip diterima: 26 Desember 2010. Revisi disetujui: 19 Februari 2011.

Abstract. Sakti P, Purwanto, Minardi S, Sutopo. 2011. *The availability status of macronutrients (N, P, and K) of paddy soil with technical and rainfed irrigation in Karanganyar industrial area, Central Java. Bonorowo Wetlands 1: 1-12.* This research aims to know the availability status of primary macronutrients (N, P, and K) and soil management of paddy soil with technical and rainfed irrigation in industrial areas. This research is a descriptive exploration by soil survey and sampling. The Soil Map Unit was determined by putting soil samples with the grid method. Soil and water were put by the purposive sampling method. The interview was done with farmers or a group of farmers by the questioner. The result of the research shows the availability of nutrients N, P and K was low pursuant to the stand of Soil Research Institute (2005). Total N regression = $0,356 + 0,622 \text{ pH}$; Available K soil = $3,42 - 0,978 \text{ Ordo}$; and Available P soil = $0,133 + 0,733 \text{ pH}$. The availability status of primary macronutrients (N, P, and K) of paddy soil with technical irrigation was higher than rainfed irrigation. Status of Cr in soil and water irrigation still under boundary sill designate the factory waste which into the paddy soil relative low and have not signification to availability of primary macronutrients (N, P, and K). Soil management recommendation to increasing availability nutrient by return paddy hay to the soil, put N fertilizer 15-20 cm under soil layer so can enter to reduction layer, put P fertilizer together with organic fertilizer, the channel of inlet and outlet irrigation shall be placed at one side or coupled with adding a 'U' pipe for reducing leaching, and plant rotation on rainfed paddy soil is paddy-paddy-corn to increase the availability of K soil. Fertilizer recommendation of SMU I: 50 kg/ha urea, 40 kg/ha SP 36 and 90 kg/ha KCL; SMU II: 80 kg/ha urea, 50 kg/ha SP 36 and 85 kg/ha KCL; SMU III: 200 kg/ha urea, 53 kg/ha SP 36 and 110 kg/ha KCL; SMU IV: 250 kg/ha urea, 50 kg/ha SP 36 and 105 kg/ha KCL; SMU V: 30 kg/ha urea, 47 kg/ha SP 36 and 110 kg/ha KCL and SMU VI: 150 kg/ha urea, 53 kg/ha SP 36 and 105 kg/ha KCL.

Keywords: N, P, K, technical irrigation, rainfed irrigation, industrial

PENDAHULUAN

Padi merupakan komoditas strategis yang mendapat prioritas penanganan dalam pembangunan pertanian. Berbagai usaha telah dilakukan dalam meningkatkan produksi padi sebagai bahan pangan pokok yang sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk, menyempitnya lahan subur akibat alih guna lahan pertanian menjadi pemukiman dan industri.

Ketersediaan unsur hara memegang peranan dalam tingkat produktivitas tanah sawah, khususnya unsur hara makro primer, yaitu N, P, dan K. Ketersediaan unsur hara ini ditentukan oleh dua faktor, yaitu faktor bawaan dan faktor dinamik. Faktor bawaan adalah bahan induk tanah, yang berpengaruh terhadap ordo tanah. Faktor dinamik merupakan faktor yang berubah-ubah, antara lain pengolahan tanah, pengairan, pemupukan, dan pengembalian seresah tanaman.

Adanya jumlah penduduk yang makin meningkat maka jumlah pangan yang harus disediakan meningkat pula. Salah satu cara untuk meningkatkan produksi padi adalah dengan panca usaha tani yang lengkap (Wismonohadi

1981). Salah satu intensifikasi usaha tani adalah dengan pemupukan. Pemupukan merupakan salah satu faktor dalam meningkatkan produksi padi. Aspek efisiensi pada pemupukan perlu selalu diupayakan untuk memperoleh hasil dan kualitas panen yang lebih tinggi dengan biaya per satuan luas yang lebih rendah. Dalam rangka meningkatkan efisiensi pemupukan, beberapa faktor penting yang perlu diperhatikan adalah jenis pupuk yang diberikan, dosis pupuk yang diberikan, cara dan waktu pemupukan serta kondisi kesuburan tanahnya (Osman 1996).

Berdasarkan studi awal berupa wawancara dengan Petugas Penyuluh Pertanian di masing-masing Kecamatan dan beberapa kelompok tani di Kecamatan Jaten dan Tasikmadu, pemberian pupuk buatan yang dilakukan petani di Kecamatan Jaten dan Tasikmadu lebih tinggi dari rekomendasi Departemen Pertanian tahun 2008 (rekomendasi pemupukan N, P dan K untuk pulau Jawa per hektar adalah 250 kg Urea, 75 kg SP-36 dan 100 kg KCl).

Sistem pertanian di Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah saat ini cenderung mengarah pada pertanian konvensional, seresah dari tanaman padi (jerami) ikut terangkut keluar dari tanah sawah. Hal ini mengakibatkan

terjadinya siklus hara terbuka dan mengakibatkan pengurasan hara sehingga jumlah hara yang harus ditambahkan ke dalam tanah meningkat. Sistem budidaya pertanian tanah sawah di Kecamatan Jaten, Kebakkramat, dan Tasikmadu berupa sawah irigasi teknis, sedangkan tanah sawah di Kecamatan Gondangrejo berupa sawah tadah hujan. Kondisi ini menyebabkan produktivitas pertanian yang berbeda antara tanah sawah tadah hujan dengan tanah sawah irigasi. Tanah sawah irigasi mendapatkan masukan unsur hara lewat air irigasi yang banyak mengandung lumpur. Rotasi tanaman yang dilakukan petani ditentukan oleh ketersediaan air. Hal lain yang harus diperhatikan dalam kaitan kondisi keheraan di tanah sawah adalah keberadaan industri, terutama limbah yang merupakan sisa akhir dari proses produksinya. Menurut Bappeda Kabupaten Karanganyar (2003), Kawasan Industri Kabupaten Karanganyar meliputi Kecamatan Jaten, Kebakkramat, dan Tasikmadu, namun seiring berjalannya waktu, terjadi penambahan daerah untuk kawasan industri yaitu Kecamatan Gondangrejo.

Kecamatan Jaten, Kebakkramat, dan Tasikmadu merupakan daerah beroperasinya pabrik-pabrik besar, antara lain pabrik tekstil, jamu, obat, makanan, dan penyedap makanan, namun yang paling banyak adalah pabrik tekstil. Limbah dari pabrik-pabrik tersebut diduga dibuang ke sungai, yang nantinya akan masuk ke sawah. Pabrik tekstil merupakan sumber utama pemajanan Cr ke air permukaan. Dalam industri tekstil, unsur Cr digunakan sebagai cat pigmen (dapat berwarna merah, kuning, orange dan hijau), *chrome plating*, penyamakan kulit, dan *treatment wool*.

Supriyadi (2004) menjelaskan, para petani menggantungkan kebutuhan air tanaman padinya pada aliran irigasi. Akibatnya, kandungan Cd dan Cr juga turut terserap padi, tetapi tidak diurai. Dalam kadar rendah logam berat umumnya sudah beracun bagi tumbuhan dan hewan, termasuk manusia. Pencemaran limbah pabrik mengakibatkan pematatan tanah, perubahan kualitas hasil padi (cepat basi) dan pencemaran baqil. Dalam penelitian ini, unsur Cr digunakan sebagai indikator adanya limbah pabrik yang masuk pada tanah sawah.

Petani memegang peranan penting dalam pengelolaan tanah sawah. Pengelolaan tanah disini terdiri dari penentuan pola tanam, pengaturan air, dan pemberian pupuk (organik dan anorganik). Hal ini didasarkan pada peran petani sebagai pelaksana dan manajer dalam pengelolaan tanah sawahnya, sehingga perlu untuk mengetahui pola pengelolaan tanah sawah oleh petani. Untuk mengetahui hal ini dilakukan dengan wawancara secara langsung dengan petani atau kelompok tani.

Penelitian ini bertujuan mengetahui status ketersediaan unsur hara makro primer, yaitu N, P, dan K dan pola pengelolaan pada tanah sawah irigasi teknis dan tadah hujan pada kawasan industri. Informasi tentang status ketersediaan hara makro primer dalam tanah dan pola pengelolaan yang telah dilakukan dapat digunakan sebagai acuan dalam menyusun usulan pengelolaan tanah yang sesuai dan spesifik lokasi untuk mengupayakan produktivitas lahan yang optimal dan lestari.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Kawasan Industri Kabupaten Karanganyar yang meliputi Kecamatan Jaten, Kebakkramat, dan Tasikmadu (sawah irigasi teknis) serta Kecamatan Gondangrejo (sawah tadah hujan).

Penelitian ini bersifat deskriptif eksploratif melalui survai lapang dan pengambilan sampel. Pengambilan sampel tanah untuk penentuan Satuan Peta Tanah dengan metode *grid* sedangkan untuk pengambilan sampel tanah dan air masing-masing SPT dengan metode *purposive sampling*.

Pengambilan sampel air masing-masing SPT dilakukan dengan mengambil sampel air di saluran tersier (sawah irigasi teknis) dan air tanah dari pompa (sawah tadah hujan). Waktu pengambilan sampel air disesuaikan kebiasaan kapan petani mengairi sawah.

Analisis laboratorium dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisika dan kimia tanah. Wawancara dilakukan melalui kuesioner pada petani atau kelompok tani dan nara sumber yang terkait di daerah ini.

Analisis laboratorium dilaksanakan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Penelitian ini didukung oleh Laboratorium Evaluasi dan Survei Tanah dan Laboratorium Fisika dan Konservasi Tanah, Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret Surakarta. Penelitian dilaksanakan mulai bulan Februari 2008 sampai Desember 2008.

Data yang didapat dari variabel penelitian dibuat menjadi data *discret* melalui pembuatan kelas, kemudian diuji dengan statistik untuk mengetahui variabel pendukung yang dominan terhadap variabel utama dengan menggunakan uji *Stepwise Regression*.

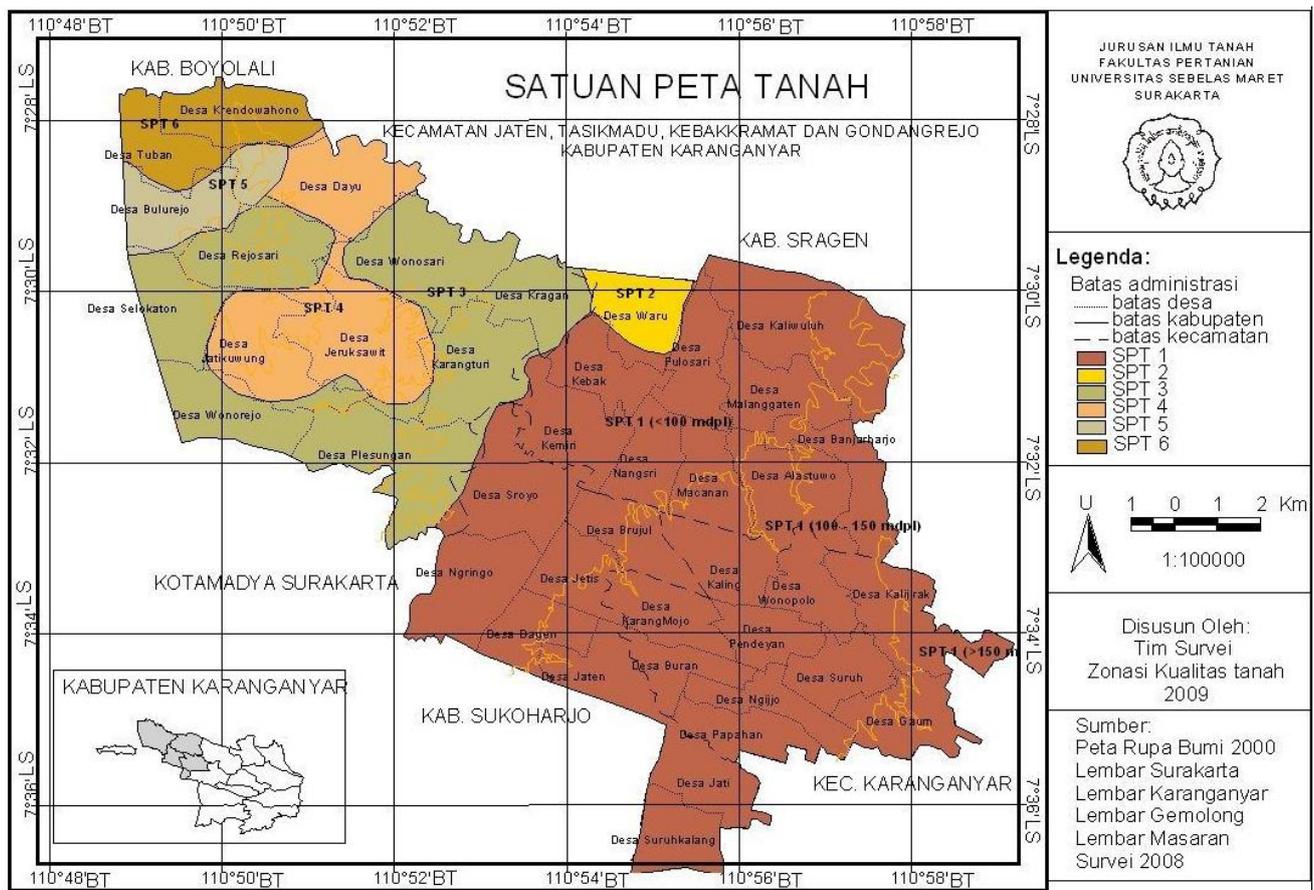
HASIL DAN PEMBAHASAN

Satuan peta tanah

Penelitian dilakukan pada tanah sawah di empat kecamatan di Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah, yaitu Jaten, Kebakkramat, Tasikmadu, dan Gondangrejo. Untuk memudahkan dalam pengamatan dan analisis dibuat Satuan Peta Tanah (SPT) pada daerah penelitian.

Sebagian besar daerah penelitian mempunyai tingkat kemiringan yang datar yaitu berkisar antara 0-3%. Sebagian kecil daerah mempunyai kemiringan antara agak miring sampai miring, yaitu: (i) Kecamatan Kebakkramat bagian utara: Tingkat kemiringannya agak miring (4-8%); (ii) Kecamatan Gondangrejo bagian utara: Tingkat kemiringannya agak miring (4-8%) dan miring (9-15%).

Kedua daerah yang mempunyai tingkat kemiringan agak miring sampai miring ini luasnya kecil sehingga dideleniasi. Dengan demikian, tingkat kemiringan daerah penelitian termasuk kategori datar (0-4%) sehingga pengambilan sampel tanah untuk pembuatan Satuan Peta Tanah (SPT) menggunakan metode *grid*. Ukuran *grid* yang digunakan yaitu 1000 m x 500 m, hal ini disesuaikan dengan peta kerja penelitian yang berskala 1:100.000 (Abdullah 1993).



Gambar 1. Peta SPT Daerah Penelitian di Kecamatan Jaten, Kebakkramat, Tasikmadu, dan Gondangrejo, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah

Tabel 1. SPT Daerah penelitian di Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah

SPT	Kecamatan	Desa	Ordo tanah
I	Jaten	Jati, Suruhkalang, Jaten, Jetis, Brujul, Sroyo dan Ngringo	Inceptisols
	Kebakkramat	Pulosari, Kaliwuluh, Kebak, Kemiri, Macanan, Malangganten, Alastuwo dan Banarharjo	Inceptisols
	Tasikmadu	Papahan, Ngijo, Buran, Karangmojo, Gaum, Wonopolo, Kaling Pandeyan, Kalijirak, dan Suruh	Inceptisols
II	Kebakkramat	Waru	Vertisols
III	Gondangrejo	Wonosari, Kragan, Karangturi, Plesungan, Selokaton, Rejosari, Plesungan dan Wonorejo	Vertisols
IV	Gondangrejo	Dayu, Jeruksawit, dan Jatikuwung	Vertisols
V	Gondangrejo	Dayu, dan Bulurejo	Vertisols
VI	Gondangrejo	Krendowahono, dan Tuban	Vertisols

Dari hasil pengamatan dan analisis statistika didapatkan enam satuan peta tanah, seperti yang tertera pada gambar 1. atau Tabel 1. Ordo tanah pada SPT I adalah Inceptisols, yang terbentuk karena geologi wilayah Kecamatan Kebakkramat, Jaten dan Tasikmadu serta sebagian Mojogedang terbentuk dari batuan penyusun utama endapan aluvial Bengawan Solo dan hasil rombakan batuan yang lebih tua. Wilayah ini termasuk dalam daerah dataran

yang datar (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karanganyar 2006). Endapan aluvial ini kemudian menjadi bahan tanah, namun karena faktor waktu, genesis tanahnya belum berkembang sehingga membentuk Ordo Tanah Inceptisol. Menurut Soil Survey Staff (1999) Inceptisols berasal dari kata Inceptum yang berarti permulaan dan Sols (solum) yang berarti tanah, sehingga Inceptisols berarti tanah pada tingkat perkembangan permulaan.

Secara umum kondisi Kabupaten Karanganyar diklasifikasikan dalam dua fisiografi cekungan sedimentasi, yaitu (i) zona Cekungan Solo yang menempati bagian tengah dan selatan daerah Karanganyar serta (ii) zona Kendeng menempati bagian utara daerah Karanganyar berkembang ke arah Desa Tuban Kecamatan Gondangrejo (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karanganyar 2006).

Faktor fisiografi lahan yang berupa cekungan akan mempengaruhi proses genesis tanah. Menurut van Wambake (1992) fisiografi seperti ini mengakibatkan terjadinya perpindahan mineral silikat (Si) dari daerah yang lebih tinggi dan terakumulasi di daerah cekungan sehingga membentuk mineral lempung monmorilonit (tipe 2: 1). Selain itu, juga dipengaruhi oleh bahan induk tanah yang berupa batuan kapur. Faktor fisiografi yang berupa cekungan dan bahan induk tanah yang berupa batuan kapur akan membentuk ordo tanah Vertisol, sehingga daerah SPT II sampai SPT VI mempunyai ordo tanah Vertisol.

Dari tiap-tiap SPT diamati sifat kimia tanah, kandungan hara tanah dan air irigasi serta pola pengelolaan tanah

sawah. Data-data tersebut direkap seperti terlihat pada Tabel 2-4.

Ketersediaan unsur hara nitrogen

Secara umum berdasarkan pengharkatan unsur Nitrogen (N) dari Balai Penelitian Tanah (2005) unsur N (N total) dalam tanah berada dalam harkat rendah, kecuali pada SPT IV, unsur N berada dalam harkat sangat rendah. Secara jelas dapat dilihat pada Tabel 2 atau pada Gambar 2.

Dari hasil analisis statistik melalui uji Stepwise Regression, kandungan N total tanah dipengaruhi oleh faktor pH tanah (reaksi tanah). Hal ini ditunjukkan dengan nilai P-Value sebesar 0.017, yang berarti faktor pH tanah berpengaruh nyata terhadap kandungan N total tanah. Persamaan regresi N Total tanah yaitu:

$$N \text{ Total tanah} = 0,356 + 0,622 \text{ pH tanah}$$

Hubungan kandungan N Total tanah dengan pH tanah adalah berbanding lurus dan mempunyai pengaruh sebesar 19.8%.

Tabel 2. Sifat kimia tanah

SPT	KL 0,5 mm	pH	KPK	N Total	P Tersedia	K Tersedia	Cr
	%			%	ppm P ₂ O ₅	ppm K ₂ O	
1	8,70	6,5	20,24	0,16 **	7,8 **	0,22 **	1,52
2	8,46	6,7	18,62	0,15 **	5,2 **	0,34 **	1,11
3	10,39	6,3	36,10	0,11 **	4,0 **	0,09 *	0,23
4	8,54	6,0	18,77	0,06 *	4,3 **	0,11 **	0,26
5	10,52	5,7	27,83	0,13 **	4,6 **	0,14 **	0,23
6	8,36	6,3	28,53	0,14 **	4,8 **	0,17 **	0,27

Keterangan: *: Sangat Rendah, **: Rendah, ***: Sedang, ****: Tinggi, *****: Sangat Tinggi. Pengharkatan: Balai Penelitian Tanah (2005)

Tabel 3. Kandungan Hara Air Irigasi

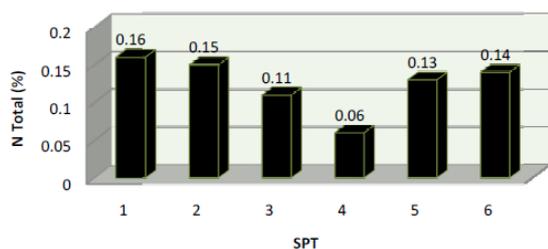
SPT	N		P		K		Cr
	me/l	kg/ha/musim*	me/l	kg/ha/musim*	me/l	kg/ha/musim*	
1	0,10	10,17	0,02	1,22	0,03	7,77	0,03
2	0,08	8,51	0,02	1,07	0,03	7,45	0,02
3	0,01	1,12	0,00	0,07	0,00	0,25	0,00
4	0,01	1,40	0,00	0,26	0,00	0,28	0,00
5	0,02	1,40	0,00	0,01	0,00	0,42	0,00
6	0,02	1,90	0,00	0,05	0,00	0,33	0,00

Keterangan: *: Kebutuhan air irigasi padi sawah sebesar 7.500 m³/ha/musim (PWSBS 1995 dalam Suyana dan Widijanto 2002)

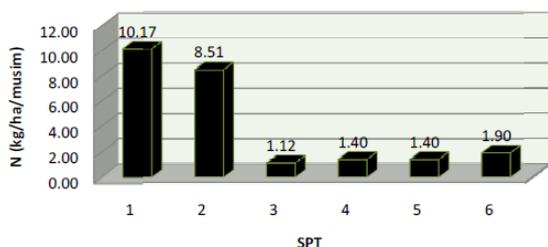
Tabel 4. Pola pengelolaan tanah sawah

SPT	N	P	K	Ponska	Rotasi Tanman	Jenis Irigasi	Pengembalian Seresah
	kg/ha						
1	313	134	70	58	*	Teknis	Tidak
2	327	220	113	0	*	Teknis	Tidak
3	253	73	33	113	**	Tadah Hujan	Tidak
4	280	163	102	0	**	Tadah Hujan	Tidak
5	293	93	80	53	**	Tadah Hujan	Tidak
6	267	40	30	90	***	Tadah Hujan	Sebagian

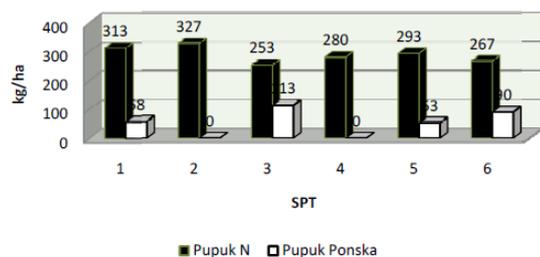
Keterangan: Pupuk N: Urea, Pupuk P : SP 36, Pupuk K: KCl. *: Pola Tanam 1 (padi-padi-padi), **: Pola Tanam 2 (padi-kacang-bera), ***: Pola Tanam 3 (padi-kacang-padi)



Gambar 2. Kandungan N total tanah



Gambar 3. Sumbangan hara N air irigasi



Gambar 4. Pola Pemupukan Pupuk N dan NPK

Sumber utama N tanah adalah bahan organik yang mengalami dekomposisi. Dekomposisi ini dilakukan oleh Fungi, Bakteri dan Actinomycetes. Pada pH rendah, Bakteri dan Actinomycetes kurang aktif sedangkan Fungi aktif. Hal ini mengakibatkan dekomposisi bahan organik relatif lambat sehingga kandungan N tanah sedikit. Pada pH netral sampai tinggi, Bakteri, Fungi dan Actinomycetes aktif sehingga dekomposisi bahan organik relatif cepat. Hal ini mengakibatkan kandungan N tanah relatif banyak (Soepardi 1979).

pH pada tanah sawah ditentukan oleh penggenangan. Penggenangan berakibat pada perubahan pH ke arah netral (6,5-7). Pada tanah masam kenaikan pH disebabkan oleh reduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} yang disertai pembebasan ion OH, sedangkan turunnya pH tanah alkalis disebabkan karena akumulasi CO_2 pada proses dekomposisi anaerobik, selanjutnya CO_2 yang bereaksi dengan air membentuk H_2CO_3 yang terdisosiasi menjadi ion H^+ dan HCO_3^- (Hardjowigeno dan Rayes 2005).

Penggenangan akan menentukan pH tanah sawah sehingga juga akan menentukan kandungan N Total tanah. Ponnampuruma (1977) mengemukakan bahwa kandungan NH_4^+ meningkat menjadi sekitar 300 ppm dalam 10 hari penggenangan dan menjadi 335 ppm dalam 30 hari penggenangan. Hardjowigeno dan Rayes (2005) menambahkan penggenangan tanah mengakibatkan

ketersediaan oksigen menurun sehingga menciptakan lapisan oksidatif tipis di permukaan tanah dan lapisan reduktif di bawahnya. Potensial redoks di lapisan reduktif akan menurun sampai stabil pada keadaan tertentu. Potensial redoks yang rendah dapat berakibat pada penghambatan pertumbuhan benih namun tidak menghambat pertumbuhan padi; menurunkan ketersediaan NO_3^- dan meningkatkan ketersediaan NH_4^+ ; meningkatkan fiksasi N oleh bakteri anaerob; meningkatkan ketersediaan P, Si, Fe^{2+} , Mn, dan S; serta menghasilkan racun senyawa organik. Pada tanah tergenang, tidak adanya O_2 menghambat aktivitas bakteri nitrifikasi untuk mengoksidasi NH_4^+ sehingga proses mineralisasi berhenti pada bentuk NH_4^+ (Kyuma 2004).

Gambar 2 dapat dilihat bahwa dari *trend* kandungan N Total tanah pada sawah dengan irigasi teknis (SPT I dan II) lebih tinggi daripada sawah tadah hujan (SPT III sampai VI). Selain itu dari *trend* kandungan N Total tanah pada sawah tadah hujan dengan rotasi padi-kacang-padi (SPT VI) lebih tinggi daripada sawah tadah hujan dengan rotasi padi-kacang-bera (SPT III sampai V). Hal ini menunjukkan bahwa penggenangan akan meningkatkan kandungan N Total tanah melalui perubahan pH tanah.

Masukan hara N dari air irigasi dapat dilihat pada Gambar 3. Terlihat air irigasi teknis pada SPT I dan II dapat memberi masukan hara N sebesar 8,51-10,17 kg/ha/musim, sedangkan air tanah pada sawah tadah hujan dapat memberi masukan sebanyak 1-2 kg/ha/musim. Dilihat dari *trend* kandungan N Total tanah, semakin tinggi kandungan N air irigasi dan sumbangan hara N dari air irigasi maka kandungan N Total tanah akan meningkat.

Pola pemupukan petani untuk unsur N tiap SPT dapat dilihat pada Gambar 4. Terlihat dosis pupuk yang diberikan petani berlebihan, mengingat rekomendasi pemupukan untuk pupuk urea sebanyak 250 kg/ha (Departemen Pertanian 2008). Pemberian pupuk yang berlebihan ini dikarenakan sawah yang dimiliki petani luasannya sedikit sehingga pemberian pupuk diberikan dalam jumlah yang relatif banyak. Apabila kemudian dikonversi ke luasan hektar maka terlihat pupuk yang diberikan berlebihan. Selain itu, petani pada umumnya terbiasa dengan menjual hasil padi dengan sistem tebas. Hal ini mengakibatkan petani memberikan pupuk N berlebihan agar tanaman padi terlihat subur.

Dari uji statistik, pemberian pupuk, baik pupuk urea ataupun pupuk Ponska berpengaruh tidak nyata terhadap kandungan N Total tanah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai P-Value pupuk Urea sebesar 0.761 dan nilai P-Value pupuk Ponska sebesar 0.294. Pemberian pupuk dengan dosis yang berlebihan yang berpengaruh tidak nyata terhadap kandungan N Total tanah diakibatkan oleh cara aplikasi pupuk kurang tepat dan adanya pelindian hara.

Cara aplikasi pupuk yang dilakukan petani adalah dengan menebar pupuk dengan jarak sebaran 2.5-3 m. Setelah itu tidak ada perlakuan membenamkan/memasukkan pupuk melalui menginjak-injak tanah. Cara aplikasi ini tidak efisien dikarenakan pupuk tidak dapat masuk ke dalam lapisan tereduksi. Seharusnya pupuk masuk pada lapisan tereduksi, dengan cara dibenam atau

ditugal. Apabila dengan cara menebar maka harus ada perlakuan memasukkan pupuk ke dalam tanah sedalam 15 sampai 20 cm.

Unsur N dalam pupuk yang berupa NH_4^+ akan terlarut pada genangan air karena pupuk Urea bersifat higroskopis dan hanya akan masuk pada lapisan teroksidasi (permukaan tanah) sehingga sedikit yang masuk pada lapisan tereduksi. Saat NH_4^+ terdapat dalam genangan air akan berubah menjadi NH_3^+ yang kemudian akan menguap ke udara. Selain itu juga akan terlindi akibat aliran air. Ion NH_4^+ yang dapat masuk pada lapisan teroksidasi akan kembali ke genangan air melalui proses difusi dengan tetap sebagai NH_4^+ ataupun menjadi NH_3^+ , yang nantinya juga rentan menguap dan terlindi. Secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5 tentang dinamika N dalam tanah sawah.

Kehilangan unsur N tanah pada permukaan tanah terjadi karena saluran inlet dan saluran outlet air irigasi yang dibedakan dan letak saluran outlet berada pada sisi lain. Hal ini mengakibatkan unsur hara yang hilang semakin tinggi. Risnasari (2002) menambahkan pada tanah Vertisols terjadi *run off* yang tinggi dan rendahnya laju infiltrasi. Penempatan saluran inlet dan outlet pada tanah sawah untuk irigasi hendaknya dalam satu sisi yang sama sehingga kehilangan unsur N dapat dihambat. Hal lain yang dapat dilakukan adalah pembuatan saluran inlet dan outlet yang dijadikan satu dengan penambahan pipa berbentuk 'U'. Pipa ini mempunyai tinggi sama dengan ketinggian penggenangan sawah dengan prinsip bejana berhubungan.

Pemberian pupuk secara berlebihan akan mengakibatkan pengurasan hara tanah. Pemberian pupuk N

yang berlebihan mengakibatkan hara N dalam tanah meningkat sehingga tanaman menyerap N dalam jumlah banyak. Akibatnya tanaman juga mengambil hara lain dalam jumlah banyak, sehingga hara yang tidak ditambah dengan pupuk kandungannya menipis.

Tabel 5. Kebutuhan Pupuk N

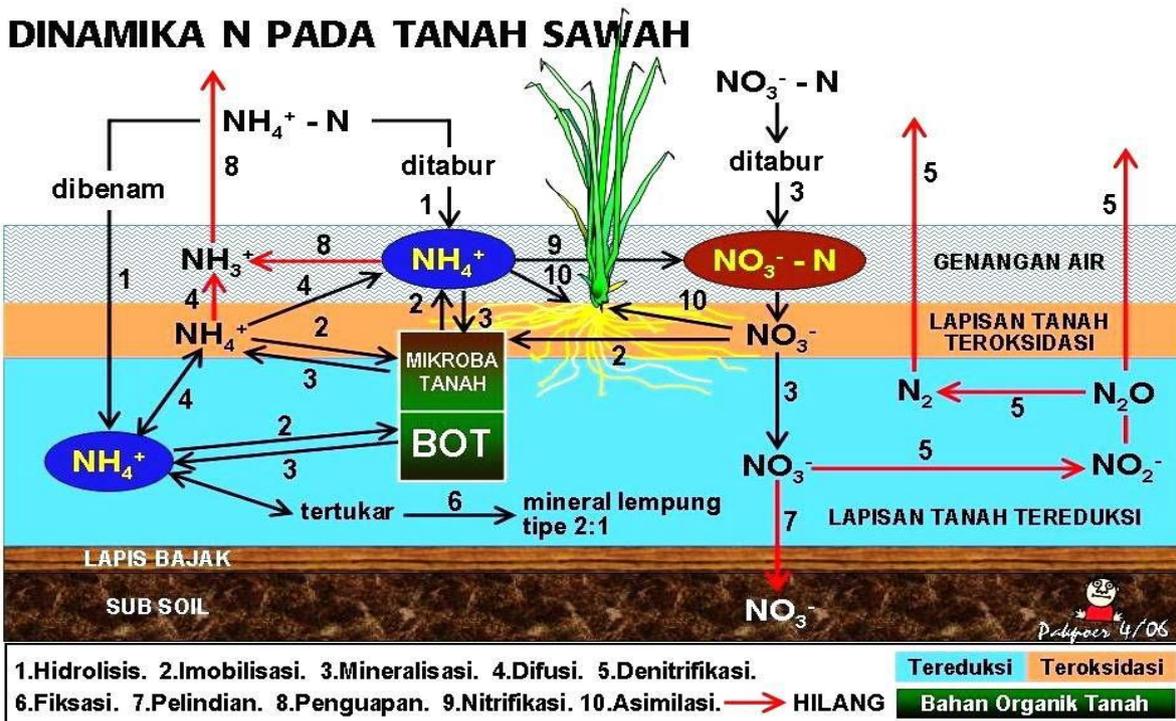
SPT	Hara N Tanah*	Hara N Air*	Kebutuhan Hara N*	Kehilangan Hara N*	Selisih N*	Pupuk N(Urea)*
1	153	10	90	60	13	50
2	123	9	90	60	-18	80
3	101	1	90	60	-48	200
4	66	1	90	60	-83	250
5	149	1	90	60	0	30
6	118	2	90	60	-30	150

Keterangan: * : kg/ ha/ musim

Tabel 6. Kebutuhan pupuk P

SPT	Hara P Tanah*	Hara P Air*	Kebutuhan Hara P*	Kehilangan Hara P*	Selisih P*	Pupuk P(Urea)*
1	9	1	13	11	-14	40
2	5	1	13	11	-18	50
3	5	0	13	11	-19	53
4	6	0	13	11	-18	50
5	7	0	13	11	-17	47
6	5	0	13	11	-19	53

Keterangan: * : kg/ ha/ musim



Gambar 5. Dinamika N pada tanah sawah

SPT I yang dapat terjadi adalah reaksi antara anion fosfor dengan salah satu gugus OH.

Pada Gambar 7 terlihat kandungan hara P pada air irigasi. Nampak kandungan hara P air irigasi pada sawah irigasi teknis lebih tinggi daripada air tanah pada sawah tadah hujan. Kandungan hara P air irigasi berkisar antara 1-1,5 kg/ ha/ musim. Hasil penelitian Soepartini et al. (1996) juga menunjukkan bahwa air pengairan sungai-sungai di pulau Jawa memberikan sumbangan hara P berkisar antara 0-3 kg/ ha/ musim.

Ion P dalam air sungai yang dijadikan sumber irigasi berasal dari hasil pelarutan mineral, erosi, pemupukan, dan kegiatan biologi membentuk kompleks, kelat atau garam-garam yang tidak larut sehingga P dalam air menjadi sangat sedikit (Suyana et al. 2001). Sumbangan hara P air irigasi dengan kandungan P tersedia tanah berhubungan berbanding lurus.

Pemupukan P diberikan petani berupa pupuk SP-36 dan Ponska kecuali pada SPT II dan IV petani hanya memberikan pupuk SP-36 misalnya terlihat pada Gambar 8. Secara kumulatif pemberian pupuk P berlebihan dibanding dengan rekomendasi Departemen Pertanian tahun 2008 yaitu 75 kg. Pemberian pupuk P baik secara tunggal dan majemuk berpengaruh tidak nyata terhadap kandungan P Tersedia tanah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai P-Value pupuk P sebesar 0,608 dan P-Value pupuk ponska sebesar 0,574.

Pitaloka (2004) mengemukakan serapan hara P oleh tanaman hanya dapat melalui intersepsi akar dan difusi dalam jarak pendek (< 0,02 cm) sehingga efisiensi pupuk umumnya sangat rendah yaitu sekitar 10%, sedangkan sebagian besar pupuk P yang tidak diserap oleh tanaman tidak hilang tercuci tetapi menjadi hara P stabil yang tidak tersedia bagi tanaman yang selanjutnya terfiksasi sebagai Al-P dan Fe-P pada tanah masam (pH < 5,5) dan sebagai Ca-P pada tanah alkalis (pH > 6,5), hal inilah yang menyebabkan pemupukan P berpengaruh tidak nyata terhadap kandungan P Tersedia tanah.

Pengembalian seresah dengan tidak memanen semua biomassa tanaman memberikan efek pada kandungan P Tersedia tanah. Hal ini nampak pada kandungan P Tersedia tanah SPT VI yang lebih tinggi daripada SPT III sampai V. SPT III sampai VI berordo tanah dan sistem irigasi yang sama, namun pada SPT VI petani memanen padi hanya gabah dan sedikit jerami.

Batang tanaman padi ditinggal setengah yang kemudian dibiarkan mengering dan ditanamkan ke lapisan olah tanah. Seresah yang ditinggal ini menjadi sumber bahan organik. Dekomposisi bahan organik dapat meningkatkan kelarutan P tanah karena (1) Pembentukan *kompleks phosphohumic* yang lebih mudah diambil tanaman; (2) Penggantian anion fosfat oleh humat; dan (3) Penyelimutan partikel *sesquioksida* oleh bahan organik, pembentukan selimut protektif ini mereduksi kapasitas fiksasi P.

Selain itu, dekomposisi bahan organik menghasilkan CO₂; gas ini bersenyawa dengan air menjadi asam karbonat; asam ini mampu mendekomposisi mineral primer yang mengandung P. Dekomposisi bahan organik juga menghasilkan anion-anion yang mampu membentuk senyawa kompleks dengan Fe dan Al, sehingga kation-

kation ini tidak bereaksi dengan fosfat. Anion-anion organik ini juga mampu melepaskan fosfat yang difiksasi oleh Fe dan Al. Anion-anion yang efektif menggantikan fosfat tersebut adalah sitrat, oksalat, tartrat, malat, dan malonat. Hal ini menunjukkan pentingnya aplikasi pupuk P dilakukan bersamaan dengan pupuk organik sehingga unsur hara P tidak difiksasi oleh mineral lempung ataupun ion Ca.

Pemberian dosis pupuk didasarkan ketersediaan hara P pada semua SPT dan kebutuhan hara oleh tanaman yang dibudidayakan oleh petani. Menurut Dierolf et al. (2001) kebutuhan hara tanaman padi agar produksi mencapai 4 ton/ ha gabah kering antara lain 13 kg P sedangkan kehilangan hara P sebanyak 11 kg/ ha. Usulan pemupukan P dapat dilihat pada Tabel 6.

ketersediaan unsur hara P di kawasan industri Kabupaten Karanganyar rendah, pada tanah sawah irigasi teknis (SPT I dan II) sebesar 5,2-7,8 ppm dengan rerata 6,5 ppm, sedangkan untuk sawah tadah hujan (SPT III sampai IV) antara 4,0-4,8 ppm dengan rerata 4,5 ppm. Ketersediaan unsur hara P tanah sawah irigasi teknis non industri di Desa Palur, Kecamatan Mojolaban, Kabupaten Sukoharjo sebesar 11,32 ppm (Basuki 2008). Ketersediaan unsur P sawah irigasi teknis kawasan industri lebih rendah daripada sawah irigasi teknis non industri. Sedangkan untuk ketersediaan unsur P sawah tadah hujan kawasan industri relatif seimbang dengan sawah tadah hujan non pertanian, hal ini ditunjukkan dengan hasil penelitian Setiyanto (2008) ketersediaan unsur P di daerah Kecamatan Jatisrono, Kabupaten Wonogiri yang merupakan daerah non industri sebesar 4,4 ppm.

Ketersediaan unsur hara kalium

Ketersediaan unsur hara kalium (K) dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 9. Kandungan K Tersedia tanah masuk pada harkat rendah, kecuali untuk SPT III, kandungan K Tersedia masuk dalam harkat sangat rendah. Kandungan K Tersedia tanah pada sawah irigasi teknis (SPT I dan II) lebih tinggi daripada sawah tadah hujan (SPT III sampai VI). Dari uji Stepwise Regression, diketahui bahwa pH tanah (reaksi tanah) berpengaruh sangat nyata terhadap kandungan K Tersedia tanah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai P-Value pH tanah sebesar 0,002. Persamaan regresi K Tersedia tanah yaitu:

$$K \text{ Tersedia} = 0,133 + 0,733 \text{ pH Tanah}$$

Hubungan pH tanah dengan kandungan K Tersedia tanah adalah berbanding lurus dan mempunyai pengaruh sebesar 32.1%. Hal ini menjelaskan kandungan K Tersedia tanah sawah irigasi teknis lebih tinggi daripada sawah tadah hujan. pH tanah sawah berhubungan langsung dengan penggenangan. Penggenangan akan mengubah pH tanah masam naik dan akan menurunkan pH tanah alkalis sehingga akan berubah mendekati pH netral.

Pada sawah irigasi tadah hujan, rotasi tanamannya adalah padi-padi-padi sehingga penggenangan dilakukan terus-menerus. Berbeda dengan sawah tadah hujan, penggenangan dilakukan pada saat menanam padi, sehingga frekuensi penggenangannya lebih sedikit.

Selain faktor di atas, sumbangan K dari air irigasi pada sawah irigasi teknis relatif tinggi, yaitu antara 7,45-7,77 kg/ha/ musim. Soepartini et al. (1996) mengemukakan sumbangan K dari air irigasi di pulau Jawa berkisar antara 7-74 kg/ha/ musim. Sebaliknya air tanah pada sawah tadah hujan hanya menyumbang hara K sebesar 0,2-0,5 kg/ha/ musim. Secara jelas sumbangan hara K air irigasi dapat dilihat pada Gambar 10.

Ketersediaan K tanah yang rendah pada SPT II sampai VI dipengaruhi oleh ordo tanah, yaitu Vertisols. Pada ordo tanah Vertisol terdapat mineral lempung tipe 2:1 (monmorilonit) yang mampu memfiksasi K di antara kisi-kisi mineral lempungnya (Indranata 1994 cit. Sudadi et al. 2002). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilaksanakan di India, yang menunjukkan tanah Vertisol mempunyai kapasitas fiksasi K (*K-fixing capacity*) dan daya sanga terhadap K (PBC^K) yang sangat tinggi (Ghousikar and Kendre 1987).

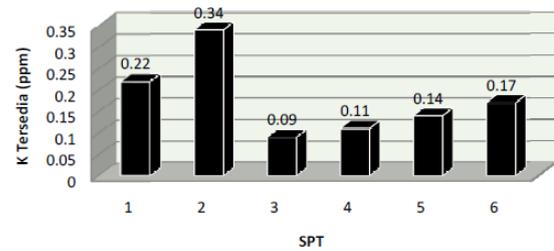
SPT I yang berordo tanah Inceptisol, kandungan K Tersedia tanah yang rendah dikarenakan genesis ordo tanah ini belum lanjut. Hal ini mengakibatkan kandungan mineral lempung tipe 1:1 (kaolinitik) yang masih sedikit. Dengan kandungan mineral lempung yang masih sedikit ini maka pengikatan ion K juga sedikit sehingga kandungan K Tersedia tanah rendah.

Penelitian Pury (2007) menunjukkan pemberian pupuk K pada ordo tanah Vertisol mempunyai pengaruh terhadap kandungan K Tersedia tanah. Secara lengkap pemupukan K digambarkan pada Gambar 11.

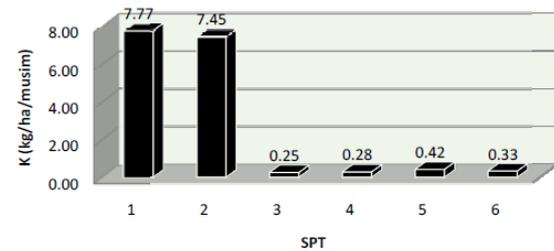
Pada sawah tadah hujan, kandungan K Tersedia tanah paling tinggi terdapat pada SPT VI. SPT III sampai VI berordo tanah sama yaitu Vertisols. Dilihat dari dosis pupuk K yang diberikan dan sumbangan hara K dari air irigasi, maka pada SPT VI kedua faktor masih lebih rendah daripada SPT yang lain. Kandungan K Tersedia pada SPT VI yang tinggi ini diakibatkan oleh pengembalian seresah oleh petani. Pengembalian seresah ini dilakukan dengan cara panen tidak tebang habis, melainkan hanya mengambil gabah dan sedikit batang tanaman. Batang tanaman ditinggal dan dibiarkan kering, selanjutnya ditanam pada lapisan olah tanah sawah. Hal ini dapat menambah kandungan hara K karena jerami per 1 ha mengandung 232 kg K (Soepartini et al. 1996).

Rotasi tanaman pada sawah tadah hujan di Kecamatan Gondangrejo sebaiknya padi-padi-jagung. Hal ini dikarenakan akar tanaman jagung dapat menghasilkan eksudat asam oksalat yang tinggi, yakni berkisar antara 3,15-5,93 mg g⁻¹ BK akar (Nursyamsi 2008). Penelitian Nursyamsi (2008) menunjukkan pemberian asam oksalat dapat meningkatkan ketersediaan K pada Vertisols.

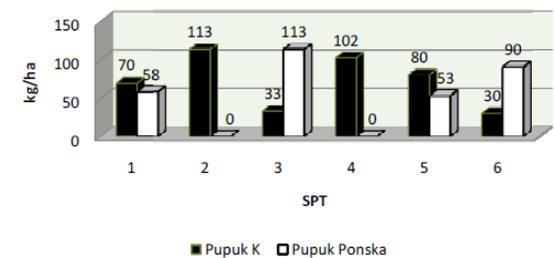
Pemberian dosis pupuk didasarkan ketersediaan hara K pada semua SPT dan kebutuhan hara oleh tanaman yang dibudidayakan oleh petani. Menurut Dierolf et al. (2001) kebutuhan hara tanaman padi agar produksi mencapai 4 ton/ha antara lain 108 kg K sedangkan kehilangan hara K sebanyak 15 kg/ha. Usulan pemupukan dapat dilihat pada Tabel 7 dengan catatan petani mengembalikan jerami ke tanah sawah.



Gambar 9. Kandungan K tersedia tanah



Gambar 10. Sumbangan Hara K Air Irigasi



Gambar 11. Pola pemupukan pupuk K dan NP

Tabel 7. Perhitungan Kebutuhan Pupuk K

SPT	Hara K tanah*	Hara K air*	Kebutuhan hara K*	Kehilangan hara K*	Selisih K*	Pupuk K (KCl)*
1	20	8	108	15	-95	90
2	26	7	108	15	-90	85
3	8	0	108	15	-115	110
4	11	0	108	15	-112	105
5	15	0	108	15	-108	110
6	13	0	108	15	-110	105

Keterangan: * : kg/ha/ musim

Secara umum ketersediaan unsur hara K di kawasan industri Kabupaten Karanganyar rendah, pada tanah sawah irigasi teknis (SPT I dan II) sebesar 0,22-0,34 ppm dengan rerata 0,28 ppm, sedangkan untuk sawah tadah hujan (SPT III sampai IV) antara 0,09-0,17 ppm dengan rerata 0,13 ppm. Kandungan hara K kawasan industri lebih tinggi daripada kawasan non industri, baik sawah irigasi teknis maupun sawah tadah hujan. Penelitian Basuki (2008) menunjukkan kandungan K tersedia di sawah irigasi teknis Desa Palur, Kecamatan Mojolaban, Kabupaten Sukoharjo yang bukan kawasan industri hanya sebesar 0,14 ppm, sedangkan ketersediaan unsur K di sawah tadah hujan Desa

Kremlangan, Kecamatan Panjatan, Kabupaten Kulonprogo hanya 0,05 ppm (Pury 2007).

Limbah industri

Daerah penelitian yang mencakup enam SPT termasuk dalam daerah industri Kabupaten Karanganyar. Adanya limbah pabrik, khususnya pabrik tekstil menjadi perhatian utama. Limbah pabrik dikhawatirkan masih mengandung logam berat, seperti Cr, sehingga akan merusak keseimbangan hara dalam tanah dan terjadi pencemaran baqil. Limbah ini diduga masuk lahan pertanian melalui anak sungai Bengawan Solo kemudian masuk ke saluran tersier sawah. Sumber air dari mata air di Pegunungan Lawu mengalir dari timur ke barat bermuara di Sungai Bengawan Solo melalui beberapa anak sungai antara lain Sungai Jlantah Walikan, Sungai Ngringo, Sungai Pengok, Sungai Sroyo dan Sungai Kumpul Kebak (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karanganyar 2006). Lebih lanjut dijelaskan pabrik yang membuang limbah ke anak sungai Bengawan Solo beserta jenis usahanya seperti pada Tabel 8 atau Gambar 9. Secara umum pabrik yang membuang limbah di sungai adalah pabrik tekstil.

Apabila limbah pabrik, khususnya pabrik tekstil masuk ke sawah maka kandungan N akan meningkat, dikarenakan limbah cair dari produksi pabrik tekstil biasanya mengandung nitrogen yang banyak sehingga dampak sesaatnya padi menjadi subur (Supriyadi 2004). Kandungan nitrogen pada limbah ini dapat meninggalkan kemasaman pada tanah sawah sehingga reaksi tanah sawah rendah. Apabila reaksi tanah sawah rendah maka ketersediaan unsur P dan K turun.

kandungan Cr dalam tanah tertinggi sebesar 1,52 ppm, sedangkan kandungan Cr pada air irigasi tertinggi sebesar 0,03 ppm. Baku mutu kandungan Cr pada air irigasi adalah 0,05 ppm sehingga kandungan Cr pada air irigasi ini masih dapat ditolerir. Demikian juga pada kandungan Cr dalam tanah yang masih dalam harkat rendah karena ambang batas Cr tanah adalah 2.5 ppm (Supriyadi 2004). Kandungan Cr tanah yang rendah ini berbeda dengan penelitian Triwahyudi dan Hartiwiningsih (2004) yang menunjukkan kandungan Cr tanah antara 3,8-7,5 ppm. Perbedaan ini dimungkinkan karena pabrik telah mengolah limbah terlebih dahulu sebelum dibuang ke anak sungai Bengawan Solo.

Adanya unsur Cr dalam tanah sawah akan mempengaruhi kandungan unsur hara N, P, dan K dalam tanah sawah. Hal ini dikarenakan unsur Cr akan menyebabkan turunnya reaksi tanah, hal ini mengakibatkan ketersediaan unsur hara N, P, dan K menurun.

KESIMPULAN

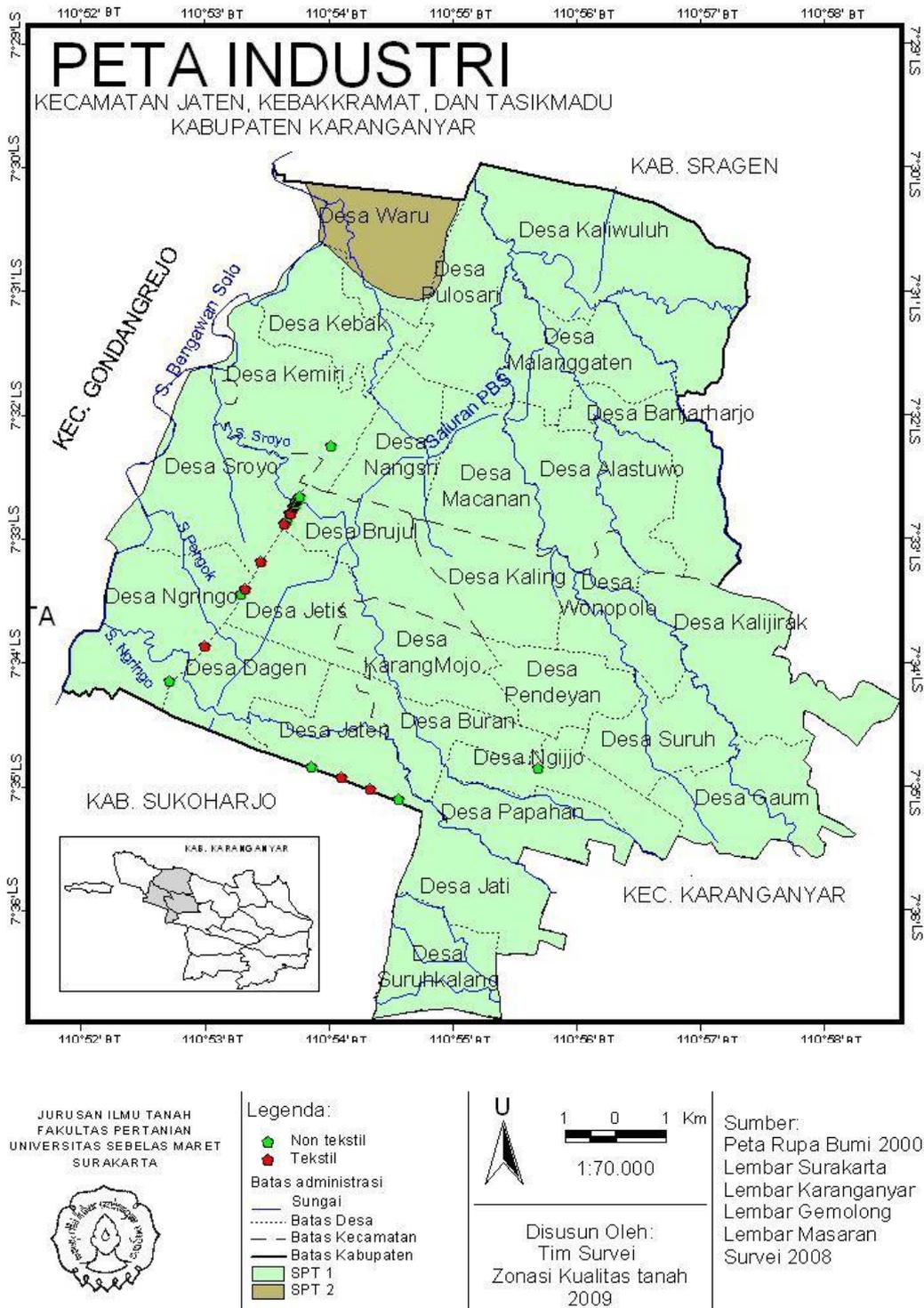
Kandungan Cr dalam tanah sawah dan air irigasi yang rendah menunjukkan limbah pabrik yang masuk ke tanah sawah hanya sedikit. Dari analisis statistik diketahui bahwa kandungan Cr tanah dan air irigasi sebagai indikator banyaknya limbah pabrik yang masuk ke dalam tanah sawah berpengaruh tidak nyata terhadap kandungan hara N, P, dan K tanah.

Status ketersediaan hara N dan K pada tanah sawah irigasi teknis dan tadah hujan tergolong rendah, sedangkan hara P pada tanah sawah irigasi teknis dan tadah hujan tergolong sangat rendah. Ketersediaan hara N, P, dan K rendah dikarenakan aplikasi pupuk tidak sampai pada lapisan reduksi dan diduga akibat *run off* dan pengikatan unsur hara oleh mineral lempung dan ion dalam tanah. Pemupukan berlebihan dikarenakan petani menjual hasil panen dengan sistem tebas. Kandungan Cr tanah dan Cr air irigasi sebagai indikator limbah pabrik masih di bawah ambang batas menandakan limbah pabrik yang masuk tanah sawah relatif sedikit. Limbah pabrik berpengaruh tidak nyata terhadap ketersediaan hara makro N, P, dan K.

Pola pengelolaan sawah irigasi teknis yaitu pemberian pupuk Urea sebanyak 320 kg/ha, SP 36 sebanyak 177 kg/ha, KCl sebanyak 91 kg/ha, dan Ponska sebanyak 29 kg/ha, rotasi tanaman padi-padi-padi, dan tidak ada pengembalian seresah. Pola pengelolaan sawah tadah hujan yaitu pemberian pupuk Urea sebanyak 273 kg/ha, SP 36 sebanyak 92 kg/ha, KCl sebanyak 61 kg/ha, dan Ponska sebanyak 64 kg/ha, rotasi tanaman padi-kacang-bera, dan tidak ada pengembalian seresah.

Tabel 8. Daftar pabrik yang membuang limbah ke sungai

Nama sungai	Nama perusahaan	Jenis industri	
Ngringo	PT. Indo Abadi Textile	Tekstil	
	PT. Kusuma Hadi Santosa	Tekstil	
	PT. Sawah Karunia Agung	Tekstil	
	PT. Lombok Gandaria	Kecap, Saos	
	PT. New Aditex	Tekstil	
	PT. Sapi Gunung	Tekstil	
	PT. Palur Raya	MSG	
	PT. Indatex Palur	Tekstil	
	PT. Karisma Paritex	Tekstil	
	Pengok	PT. Bengawantex	Tekstil
PT. Wari Sejahtera		Tekstil	
PT. Kusuma Remaja		Tekstil	
PT. Senang Kharismatex		Tekstil	
PT. Tunggak Waru Semi		Sodium siklamat	
PT. Dunia Setia Sandang Asli Tekstil		Tekstil	
PT. Krisma Sindo		Tekstil	
Perusahaan Bihun Bahagia		Bihun	
Kumpul		PT Tri Tunggal Adyaputra	Tekstil
		PT Suburtex	Tekstil
	PT Kemilau Indah Permana	Tekstil	
	PT Rawutex	Tekstil	
	PT Delta Marlin II	Tekstil	
Sroyo	PG. Tasikmadu	Gula	
	PT. Sari Warna Asli III	Tekstil	
	PT. Sekar Bengawan	Tekstil	
	PT. Afantex	Tekstil	
	PT. Sari Warna Asli IV	Tekstil	
	PT. Sumber Jaya Garment	Tekstil	
	PT. Agung Sejahtera Sidoarjo	Tekstil	
	CV. Beta Foam	Busa	
	PT. Indo Acidatama	Kimia dasar	



Gambar 9. Peta industri di Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah TS. 1993. *Survai Tanah Dan Evaluasi Lahan*. Penerbar Swadaya. Jakarta.

Balai Penelitian Tanah. 2005. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk*. Departemen Pertanian. Bogor.

Bappeda Kabupaten Karanganyar. 2003. *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Karanganyar*. Karanganyar.

Basuki. 2008. *Efisiensi Serapan N dan Hasil Tanaman Padi (Oryza sativa L.) pada Berbagai Imbangan Pupuk Kandang Sapi dengan Biodekomposer dan Pupuk Anorganik di Lahan Sawah Palur Sukoharjo*. [Skripsi]. Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Departemen Pertanian. 2008. *Pedoman Teknis Pemanfaatan PUTS Tahun 2008*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pengolahan Lahan dan Air.

- Dierolf T, Fairhurst T, Mutert E. 2001. Toolkit for Acid, Upland Soil Fertility Management in Southeast Asia. The Potash and Phosphate Institute, Atlanta, Georgia.
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karanganyar. 2006. Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kabupaten Karanganyar Tahun 2006. Karanganyar.
- Ghousikar CP, DW Kendre. 1987. Potassium Supplying Status of Some Soils Of Vertisols Type. Potash Review No. 5/1987. International Potash Institute. Switzerland
- Hardjowigeno S, Rayes L. 2005. Tanah Sawah. Bayumedia, Malang
- Kyuma K. 2004. Paddy Soil Science. Kyoto University Press. Jepang.
- Nursyamsi D. 2008. Pelepasan Kalium Terfiksasi dengan Penambahan Asam Oksalat dan Kation untuk Meningkatkan Kalium Tersedia bagi Tanaman Pada Tanah-tanah yang Didominasi Mineral Liat Smektit. Disertasi Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Osman F. 1996. Memupuk Padi dan Palawija. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Pitaloka NDA. 2004. Uji efektivitas ketersediaan unsur fosfat pada tanah typic tropoquent dataran aluvial berdasarkan dosis dan waktu inkubasi. Jurnal Agrifar 2 (3): 70-75.
- Ponnamperuma FN. 1972. The chemistry of submerged soils. Adv Agron. (24) 29-96.
- Prasetyo BH. 2007. Perbedaan sifat-sifat tanah vertisol dari berbagai bahan induk. Jurnal Ilmu Ilmu Pertanian Indonesia 9 (1): 20-31.
- Pury T. 2007. Pengaruh Pemberian Pupuk K dan Zeolit Terhadap Serapan K pada Tanah Vertisol Kulonprogo dan Hasil Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.). Skripsi S1 Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Risnasari I. 2002. Sifat Fisik Tanah-Tanah Utama di Daerah Tropis. Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Setiyanto S. 2008. Studi Kelayakan Pemupukan Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) pada Tanah Alfisol di Kecamatan Jatisrono Kabupaten Wonogiri. [Skripsi]. Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Soepardi G. 1979. Masalah Kesuburan Tanah di Indonesia. IPB. Bogor.
- Soepartini M, Widiati S, Suryadi ME, Prihatini T. 1996. Evaluasi Kualitas dan Sumbangan Hara dari Air Pengairan di Jawa. Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Soil Survey Staff. 1999. Kunci Taksonomi Tanah. Edisi Kedua Bahasa Indonesia. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Supriyadi. 2004. 80% Sawah di Tiga Kecamatan Karanganyar Tercemar Logam Berat dalam www.mediaindonesia.co.id. Diakses pada tanggal 23 Agustus 2007.
- Suyana J, Sutopo dan H Widijanto. 2001. Kualitas air dan sumbangan hara dari air irigasi Sidorejo. Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian 22 (2): 39-46.
- Suyana J, Widijanto H. 2002. Studi kualitas air dan sumbangan hara dari irigasi Sidorejo, Jawa Tengah pada budidaya padi sawah. Sains Tanah 2 (1): 1-6.
- Triwahyudi P, Hartiwiningsih. 2004. Kebijakan Pengendalian Pencemaran Air Akibat Kegiatan Industri di Kabupaten Karanganyar. PPLH UNS. Surakarta.
- Wismonohadi. 1981. Penanaman Padi Sawah Secara Intensif dan Masalahnya. Penataran PPS Bidang Tanah/Pengairan. Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta.