

NILAI PUPUK SARI KERING LIMBAH (sludge) KAWASAN INDUSTRI DAN DAMPAK PENGUNAANNYA SEBAGAI PUPUK ATAS LINGKUNGAN*)

**(The fertilizer value of industrial estate sludge
and its impact usage on environment)**

Tejoyuwono Notohadiprawiro)**
Suryanto)**

M. Shodiq Hidayat)**
Anjal Anie Asmara)**

Abstracts

Industrial estate sludge in preliminary trials showed beneficial effects on the growth and flowering of ornamental plants. In subsequent trials using some food plants, sludge manuring resulted in increased yields. A number of chemical analyses done on sludge from the industrial estate of PT SIER, however, revealed that the sludge contained substantial amounts of various heavy metals. This fact becomes a cause for serious concern as the use of sludge as manure may bring about environmental pollution as well as internal pollution through the food chain. The purpose of the study was to determine how far the environmental consequences are when manuring with industrial sludge is applied to food crops. One of the important auxiliary functions of soil as a buffer system was also studied. Three soils with different CEC were used which according to FAO's major soil groups are a Vertisol, a Ferralsol and a Regosol in order of decreasing CEC. Four different plants were used, namely spinach to represent leaf vegetables, sweet potato to represent root crops, tomato to represent fruit vegetables, and corn to represent cereal crops. In addition, spinach may show how heavy metals accumulation in plants relates to vegetative growth processes, sweet potato may demonstrate how it relates to processes of photosynthate storage in the form of starch, and tomato and corn may indicate how it relates to the development of generative organs.

Abstrak

Sari kering limbah (sludge), disingkat SKL, kawasan industri dalam ujicoba awal memperlihatkan kegunaannya sebagai pupuk tanaman hias berdasarkan kesuburan

*)Direktorat Pemb. Penel. dan Pengabdian Masyarakat, Ditjen. Pend. Tinggi, Depdikbud. RI.

**Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada.

tumbuh dan kecantikan pembungaannya. Kegunaannya sebagai pupuk pertanian terbukti dalam ujicoba berikutnya dengan beberapa tanaman pertanian apabila hanya hasil panen yang diperhatikan. Sejumlah analisis kimia atas SKL PT SIER mengungkapkan bahwa bahan tersebut mengandung berbagai logam berat dalam jumlah tidak sedikit, bahkan ada yang berjumlah cukup banyak. Kenyataan ini menimbulkan kekhawatiran akan dapat terjadi pencemaran lingkungan dan pencemaran dakhil (internal pollution) lewat rantai pangan atau pakan. Penelitian ini bertujuan menelaah dampak penggunaan SKL sebagai pupuk pertanian atas lingkungan, dan pada jalur panjangnya dampak atas orang dan ternak. Dampak diteliti lewat laju pengambil logam berat oleh tanaman dan aras pelonggokannya dalam berbagai bagiannya yang biasanya dimakan orang atau ternak. Diteliti pula pengaruh tanah atas laju pengambilan logam berat berdasarkan daya sangganya dalam proses pertukaran ion antara tanah dan tanaman. Tanah yang digunakan tiga macam yang masing-masing termasuk dalam Kelompok Tanah Utama FAO Vertisol, Ferralsol dan Regosol, yang dalam urutan ini mempunyai daya sangga yang makin menurun. Tanaman yang digunakan empat macam, yaitu bayam cabut sebagai wakil sayuran yang dimakan daunnya, ubi jalar sebagai wakil tanaman yang dimakan umbinya, tomat sebagai wakil tanaman yang dimakan buahnya, dan jagung sebagai wakil tanaman yang dimakan bijinya. Bayam cabut sekaligus berguna menelaah kaitan pelonggokan logam berat dengan proses pertumbuhan, kaitannya dengan proses penyimpanan fotosintat berupa pati diperlihatkan oleh ubi jalar, dan tomat serta jagung memperlihatkan kaitannya dengan proses generatif.

Pendahuluan

Persoalan lingkungan adalah persoalan limbah. Makin asing sifat limbah bagi lingkungan, persoalan yang ditimbulkan limbah makin gawat. Hal ini disebabkan karena sifat limbah makin jauh dari suatu sifat bahan yang dapat dibersihkan oleh lingkungan sendiri dengan kemampuan pembawaannya. Misalnya, sampah daun pembungkus tidak akan menimbulkan pencemaran berarti atas lingkungan dibandingkan dengan sampah plastik. Sampah barang besi tidak menimbulkan pencemaran seberat sampah barang aluminium.

Ada dua pilihan penyelesaian persoalan limbah. Pilihan yang satu ialah menyingkirkan atau menghancurkan limbah, dan yang lain ialah mengolah limbah menjadi bahan atau barang berguna. Upaya kedua disebut juga pemanfaatan atau daur ulang limbah, yang sudah barang tentu lebih menguntungkan daripada upaya pertama. Mendaur-ulangkan limbah sudah biasa dikerjakan dalam pertanian, yaitu sisa pertanaman dimasukkan kembali ke dalam tanah untuk pupuk atau pemenda tanah (soil amendment), baik secara langsung maupun secara tidak langsung dengan terlebih dulu dikomposkan.

Industri merupakan sumber utama limbah yang paling berbahaya karena industri memroses dan memproduksi bahan yang memiliki sifat-sifat asing bagi lingkungan normal. Bahaya limbah industri meningkat kalau mengandung logam-logam berat yang

ambang peracunan makhluk sangat rendah, misalnya Hg, Ni, Pb dan Cd. Dampak negatif logam berat atas lingkungan dapat mengenai populasi jasad makro dan mikro tanah sehingga menghancurkan ekosistem tanah dan tanah menjadi mati. Dampak negatif dapat menimpa tubuh air, baik secara langsung karena pembuangan limbah ke perairan maupun secara tidak langsung lewat pengangkutan logam berat dari tanah oleh aliran perkolasi ke air tanah atau oleh aliran limpas ke tubuh air permukaan. Dampak negatif langsung atas manusia terjadi lewat rantai pangan yang bermula dari pengambilan logam berat dari tanah oleh tanaman pangan atau pakan. Peristiwa ini disebut pencemaran dakhil (internal pollution).

Dibandingkan dengan pencemaran atas tanah dan tubuh air, pencemaran dakhil dapat berjangkauan lebih luas lewat pendagangan komoditas pangan dan pakan. Maka dampak penggunaan limbah industri sebagai pupuk berukuran kepentingan (importance) besar dan berukuran tingkatan (magnitude) berat.

Kajian ini dirangsang oleh kehendak PT SIER (Surabaya Industrial Estate Rungkut) memasarkan sari kering limbah (sludge) hasil olahannya untuk pupuk. Kehendak ini muncul karena diketahui SKL mengandung bahan organik sampai sekitar 30% dan menurut pengalaman sangat baik untuk memupuk taman dan tanaman hias di halaman PT SIER. Akibat dan peristiwa dampak yang dapat ditimbulkan oleh limbah tergantung pada sifat limbah, cara mengolahnya sebelum disingkirkan, dan cara menyingkirkan hasil olahan limbah.

Manfaat potensial SKL sebagai pemasok hara N, P dan Ca serta bahan organik sudah lama dikenal. Namun akhir-akhir ini timbul keprihatinan tentang bahaya potensial SKL memasukkan logam berat, seperti Cd, Cr dan Hg, ke dalam rantai pangan. Di Amerika Serikat Cd dipandang sebagai unsur logam yang secara potensial paling berbahaya sehubungan dengan penggunaan SKL sebagai pupuk. Pandangan ini didasarkan atas kadar Cd dalam SKL, kimiawi Cd dalam tanah, toksisitasnya atas tanaman dan hewan, kemampuan tanaman menimbunnya dalam jaringan, dan pelonggokannya dalam rantai makanan terestrial (Bingham dkk., 1979; Giordano dkk., 1979; Gunadi dkk., 1988; Hue dkk., 1988; Kim dkk., 1988).

Kajian ini bermaksud mendapatkan fakta andal tentang dampak SKL kawasan industri atas lingkungan seandainya bahan ini dimasukkan ke dalam sistem produksi pertanian sebagai pupuk. Yang dipentingkan dalam telaah ini ialah potensi menimbulkan pencemaran dakhil.

Menurut Hue dkk. (1988) sifat tanah yang menjadi faktor pengendali utama atas perilaku unsur logam dalam SKL ialah pH,

KPK dan kadar bahan organik. Dalam keadaan alkalin kebanyakan logam berat kurang terlarutkan karena senyawa karbonat dan hidroksida logam-logam tersebut mengendap. Maka pengapuran tanah masam yang diberi SKL dapat menekan pengambilan logam berat oleh tanaman (Bingham dkk., 1979; Giordano dkk., 1979). Dalam tanah bermuatan terubahkan (variable charge), seperti Oksisol tua dan Andisol, kenaikan pH membawa kenaikan KPK, berarti daya sangga tanah naik. Bahan organik tanah juga dapat mengatur ketersediaan logam berat dengan reaksi kilasi (chelation). Kilasi menurunkan ketersediaannya dalam hal logam membentuk struktur cincin mantap dengan gugus fungsional karboksil dan hidroksil dari agregat organik. Sebaliknya, ketersediaannya meningkat karena kilasi dalam hal logam dikompleks oleh molekul organik terlarutkan, khusus yang berat molekulnya rendah, berupa asam organik hasil perombakan mikrobiologi SKL. Pembentukan asam organik juga dapat meningkatkan keterlarutan logam aseli tanah, seperti Fe dan Mn, sehingga meracuni tanaman. Maka sebelum menggunakan SKL sebagai pupuk harus difahami lebih dulu interaksi antara SKL, tanah dan tanaman (Hue dkk., 1988).

Pertanaman berbeda jelas dalam daya pengambilan logam berat dan ketanggungan (tolerance) terhadapnya. Di kalangan berbagai tanaman pangan, jagung melonggokkan Zn dan Cd paling tinggi, sedang kentang paling rendah. Asas fisiologi dan biokimia dari perbedaan ini sampai sekarang belum diketahui (Giordano dkk., 1979; Hue dkk., 1988; Kim dkk., 1988).

Kenaikan suhu tanah dapat meningkatkan, tidak mengubah, atau menurunkan kadar logam dalam jaringan tanaman. Pengaruh apa yang terjadi bergantung pada macam logam, jenis tanaman dan organ tanaman yang ditelaah. Misalnya, kenaikan suhu tanah dari sekitar 16°C menjadi sekitar 27°C menaikkan kadar Zn 21% dan Cd 50% dalam daun slada dan kubis. Akan tetapi dalam biji jagung dan buncis Zn justru turun 4% dan Cd tetap. Secara umum kadar Zn dan Cd dalam daun lebih tinggi daripada dalam bagian lain tanaman, seperti umbi, buah dan biji. Pemanasan tanah memperlebar perbedaan kadar tersebut (Giordano dkk., 1979).

Jumlah logam berat yang terekstrak dari tanah yang diperlakukan dengan SKL meningkat sejalan dengan bertambah lama SKL berada dalam tanah, berarti sejalan dengan kemajuan perombakan SKL. Pengaruh pemanasan tanah barangkali dapat dikaitkan dengan pemacuan laju perombakan SKL.

Pengaruh suhu dapat kiranya menunjukkan bahwa penggunaan SKL di tanah tropika lebih berbahaya karena suhu tanah merata tahunan tinggi. Penggunaannya di daerah pegunungan yang berhawa

sejuk boleh jadi kurang berbahaya daripada di daerah rendah yang berhawa panas.

Penelitian dengan insekta memberikan pengertian bahwa kecenderungan makhluk melonggokkan logam berat dalam jaringan tubuhnya dapat dikaitkan dengan tiga faktor, yaitu pola makan, ukuran tubuh, dan perilaku fisiologi (Gunadi dkk., 1988). Berkenaan dengan tanaman, pola makan kiranya dapat dikiasikan dengan pola pengambilan hara, yang ditentukan oleh volum efektif perakaran, populasi mikrobial risosfer, kemas risoplen (rhizoplane fabric) dan KPK akar. Faktor ukuran tubuh menyiratkan bahwa tanaman yang lebih besar karena macamnya atau karena kesuburan pertumbuhannya dari macam yang sama, cenderung melonggokkan logam berat lebih banyak. Perilaku fisiologi tanaman terkait pada macam dan pada fase pertumbuhan dan perkembangan yang sedang dijalani tanaman. Secara garis besar fase itu ialah fase vegetatif dan generatif. Pengertian macam tanaman menyangkut pula organogenesis. Tanaman berumbi berperilaku fisiologi berbeda dengan yang tidak membentuk umbi. Suatu kultivar yang fase generatifnya dimatikan untuk memaksimumkan organogenesis vegetatif berperilaku fisiologi berbeda dengan yang menjalani fase vegetatif dan generatif normal. Perbedaan macam tanaman dan organogenesisnya menyebabkan perbedaan dalam tingkat pelonggokan logam berat dan pengagihannya dalam organ-organ tanaman. Agihan unsur logam berat dalam tubuh tanaman dapat dikatakan berkaitan dengan kecondongan genetik (genetic disposition) tanaman masing-masing.

Metodologi

Telaah ditekankan pada pengungkapan potensi pupuk SKL dalam menimbulkan pencemaran dakhil. Maka dari itu sebagai piranti telaah dipilih jalur rambatan dampak lewat rantai pangan, yaitu SKL → tanah → tanaman pangan → manusia.

Penelaahan dikerjakan dengan percobaan pot dalam rumah kaca. Percobaan menggunakan rancangan faktorial dengan tiga faktor, yaitu SKL, tanah dan tanaman, dan tiga ulangan.

Tanaman penguji yang dipilih ialah bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) ubijalar (*Ipomoea batatas* L.), tomat (*Solanum lycopersicum* L.) dan jagung (*Zea mays* L.). Bayam cabut mewakili tanaman sayuran daun, bahan hasil proses vegetatif dan ukuran tubuh terkecil. Tomat mewakili tanaman sayuran buah, bahan hasil proses generatif dan ukuran tubuh sedang. Ubijalar mewakili tanaman pangan umbi-umbian, organ vegetatif penimbun fotosintat

pati dan ukuran tubuh besar. Jagung mewakili tanaman pangan biji-bijian, organ generatif penimbun fotosintat pati dan ukuran tubuh terbesar.

Untuk menelaah pengaruh pH, KPK, kadar bahan organik dan tekstur tanah digunakan tiga macam tanah yang menurut FAO-Unesco (1985) masing-masing termasuk Kelompok Tanah Utama Vertisol, Ferralsol dan Regosol. Bahan tanah diambil dari jeluk (depth) 0 - 30 cm. Bahan Vertisol diambil dari daerah Sragen, bahan Ferralsol diambil dari daerah Karanganyar, Surakarta, dan bahan Regosol diambil dari daerah Kuningan, Sleman, Yogyakarta. Sifat tanah masing-masing tercantum dalam Daftar 1.

Daftar 1. Sifat-sifat tanah yang digunakan dalam telaah.

Sifat	Tanah		
	Vertisol	Ferralsol	Regosol
Lempung, %	70,5	55,2	10,0
Debu, %	8,3	39,3	13,8
Pasir, %	21,2	5,5	76,2
pH-H ₂ O	7,05	5,65	7,12
pH-KCl	5,60	4,72	6,10
KPK, cmol (+) kg ⁻¹	65,59	25,02	10,23
Bahan Organik, %	1,68	0,89	1,22
N total, %	3,29	0,07	0,04
N tersedia, ppm	142,7	124,3	42,8
P larut HCl 25%, %	0,19	0,01	0,09
P tersedia, ppm	20,2	9,0	18,0
K larut HCl 25%, %	0,03	0,02	0,04
K tersedia, ppm	125,1	48,5	383,2
S larut HCl 25%, %	0,07	0,04	0,09
S tersedia, ppm	24,4	16,1	12,8
Fe total, %	0,11	0,11	0,94
Fe tersedia, ppm	12,5	13,3	12,8
Mn total, %	0,70	0,65	0,29
Mn tersedia, ppm	67,5	63,2	24,4
Zn total, ppm	49,8	42,7	20,7
Zn tersedia, ppm	3,9	1,9	4,4
Cu total, ppm	27,7	35,4	18,7
Cu tersedia, ppm	2,6	5,6	3,1
Pb total, ppm	10,5	15,1	5,6
Pb tersedia, ppm	0,5	0,6	0,4
Ni total, ppm	28,8	14,9	6,4
Ni tersedia, ppm	1,7	0,9	0,9

SKL berasal dari kawasan industri PT SIER. SKL kering angin lolos saringan 2 mm dicampur dengan tanah dalam pot dengan lima takaran yang masing-masing setara dengan 0, 2,5, 5, 10 dan 20 Mg ha⁻¹ SKL kering mutlak (Mg = megagram = ton). SKL digunakan sebagai pupuk organik. Oleh karena nilai pupuk SKL yang ditelaah maka pemupukan dasar dengan pupuk lain tidak diadakan. Sifat SKL tercantum dalam Daftar 2.

Daftar 2. Sifat-sifat SKL yang digunakan dalam telaah.

Sifat	Kadar/ nilai	Sifat	Kadar/ nilai
Lempung, %	14,6	Cu total, ppm	2092,3
Debu, %	18,1	Zn total, ppm	3602,1
Pasir, %	67,3	Pb total, ppm	216,8
pH-H ₂ O	7,65	Ni total, ppm	2088,4
pH-KCl	6,78	Fe total, ppm	822,5
Bahan organik, %	39,73	Mn total, ppm	248,5
N total, %	4,96	Cd total, ppm	1,2
N tersedia, %	0,44	Cr total, ppm	10,0
P larut HCl 25%, %	1,28	Hg total, ppm	0,1
P tersedia, ppm	69,0	Al total, ppm	10,0
K larut HCl 25%, %	0,06	Ag total, ppm	70,0
K tersedia, ppm	4,9	As total, ppm	0,0
S larut HCl 25%, %	0,14		
S tersedia, ppm	408,4		

Ukuran dapat disesuaikan dengan luas perakaran tanaman. Luas mulut pot untuk bayam cabut 188,6 cm², untuk tomat dan jagung 433,5 cm² dan untuk ubijalar 637,6 cm². Luas mulut pot digunakan sebagai pendekatan luas permukaan tanah dalam pot. Kesetaraan jumlah SKL yang diberikan kepada tiap pot dengan pemberian tiap ha ditetapkan secara proporsional dengan luas permukaan tanah dalam pot. Takaran SKL kering angin yang dicampurkan dengan tanah dalam pot bayam cabut setara dengan SKL kering mutlak 0, 7,9, 15,9, 31,8 dan 63,6 g, dalam pot tomat dan jagung ialah 0, 18,3, 36,5, 73,1 dan 146,2 g, dan dalam pot ubijalar ialah 0, 26,9, 53,7, 107,5 dan 215,0 g. Berat tanah kering angin lolos saringan 5 mm yang diisikan ke dalam pot setara dengan berat tanah kering mutlak 2,5 kg untuk bayam cabut, 10 kg untuk tomat dan jagung, dan 14 kg untuk ubijalar.

Campuran tanah - SKL dalam pot dibasahi dengan air suling hingga kapasitas lapangan dan dibiarkan dalam keadaan ini selama

000

seminggu. Setelah selesai masa pendiaman dilakukan penanaman biji bayam cabut, tomat dan jagung, dan batang ubijalar sepanjang lima ruas. Setelah biji berkecambah atau batang bertunas, dan bertumbuh baik, diadakan penjarangan yang dalam hal bayam cabut disisakan 10 tanaman tiap pot, dan dalam hal tomat, jagung dan ubijalar disisakan dua tanaman tiap pot. Lugas tanah dipertahankan pada kapasitas lapangan dengan penyiraman dua hari sekali dengan air suling. Pertambahan berat pot karena pertumbuhan tanaman diperhitungkan sewaktu menentukan jumlah air yang perlu ditambahkan.

Pertambahan tinggi tanaman diukur setiap minggu. Panen dilakukan pada umur masak-panen tanaman masing-masing, kecuali tomat yang dipanen pada waktu menghasilkan buah pertama. Pada waktu panen tanaan dibongkar dan dipisahkan akar, umbi, batang, daun dan buah atau bijinya. Tiap bagian tanaman ditimbang berat segarnya, kemudian dikeringkan dalam tungku pengering pada suhu 45°C selama 3 - 4 hari, dan ditimbang berat keringnya. Bahan kering digiling hingga seluruhnya lolos saringan 0,4 mm (40 mesh) dan selanjutnya dianalisis.

Setelah tanaman dibongkar, tanah dicuplik (sampled), cuplikannya dikering-anginkan, diuraikan hingga lolos saringan 2 dan 0,5 mm, dan selanjutnya dianalisis.

Analisis tanah, SKL dan campuran tanah-SKL setelah tanaman dibongkar meliputi bahan organik menurut Walkley-Black, N total menurut Kjeldahl, N tersediaan menurut Prasad, P terekstrak dengan HCl 25% secara spektrofotometri, P tersediaan menurut Bray I secara spektrofotometri, K terekstrak dengan HCl 25% secara fotometri pijar, K tersediaan dengan ekstraksi NH_4OAc 1 N pH 7 secara fotometri pijar, S terekstrak dengan HCl 25% secara spektrofotometri, S tersediaan dengan ekstraksi air secara spektrofotometri, serta logam berat Cu, Zn, Pb, Ni, Fe dan Mn total dengan ekstraksi campuran HNO_3 pekat dan HClO_4 pekat secara AAS dan tersediaan dengan ekstraksi HCl 1 N secara AAS menurut Miller dkk., pH- H_2O dan pH-KCl (Burau, 1982; Yuita dkk., 1982; Prawirowardoyo dkk., 1987).

Analisis tanah ditambah dengan penetapan agihan besar butir secara pipet dan KPK dengan ekstraksi NH_4OAc 1 N pH 7. Analisis SKL ditambah dengan penetapan agihan besar butir secara pipet dan kadar total Cd, Cr, Hg, Al, Ag dan As.

Analisis jaringan tanaman meliputi N, P dan K dengan destruksi basah menurut Linder & Harley (Rosmarkam, 1982), dan Cu, Zn, Pb, Ni, Fe dan Mn dengan destruksi basah menggunakan campuran

HNO₃ pekat dan HClO₄ pekat dengan perbandingan bahan tanaman: cairan = 1 : 5 (Nugrohati dkk., 1985).

Analisis statistik meliputi sidik ragam untuk mengungkapkan interaksi antar faktor dan penetapan korelasi serta regresi untuk mengungkapkan nasabah (relationship) faktor masing-masing dengan kadar, agihan dan serapan total logam berat dalam jaringan tanaman.

Hasil Dan Pembahasan

Masak-panen bayam cabut, jagung dan ubijalar tidak dipengaruhi oleh macam tanah, yaitu bayam cabut 4 minggu dan jagung serta ubijalar sama 10 minggu. Penghasilan buah pertama tomat dipengaruhi oleh macam tanah, yaitu 13 minggu di Vertisol, 14 minggu di Regosol dan 15 minggu di Ferralsol.

Nilai pupuk SKL dapat disiratkan dari hasil biomassa trubus (shoot) segar bayam cabut, tongkol kering jagung, umbi segar ubijalar dan buah segar tomat. Penggunaan berat segar atau berat kering hasilpanen disesuaikan dengan kebiasaan memakan bahan-bahan tersebut.

SKL sangat jelas meningkatkan hasil biomassa trubus bayam cabut. Secara umum tingkat hasil di Vertisol dan Regosol sama. Tingkat hasil di Ferralsol jauh lebih rendah yang membuktikan bahwa kesuburan aseli tanah ini sangat rendah. SKL juga cenderung meningkatkan bandingan berat trubus terhadap biomassa total (trubus + akar). Bandingan ini rupa-rupanya tidak bergantung pada macam tanah. Fakta ini menunjukkan bahwa bandingan berat bagian tanaman lebih berkaitan dengan faktor genetik daripada dengan faktor lingkungan. Lihat Daftar 3.

Persamaan regresi terbaik takaran SKL (X) atas berat segar trubus bayam cabut (Y) pada macam tanah masing-masing adalah:

Vertisol	$Y = 3,29 + 0,35 X + 0,002 X^2$	dengan $R^2 = 0,96$ atau
	$Y = 2,46 + 0,46 X$	dengan $R^2 = 0,96$
Ferralsol	$Y = 3,81 + 0,36 X + 0,002 X^2$	dengan $R^2 = 0,96$ atau
	$Y = 2,83 + 0,49 X$	dengan $R^2 = 0,95$
Regosol	$Y = -0,59 + 0,99 X - 0,008 X^2$	dengan $R^2 = 0,98$

Pada Vertisol dan Ferralsol regresi kuadrat dan linier sama baik, berarti daya pengaruh SKL menekan hasil terjadi pada takaran yang jauh di atas takaran tertinggi yang diterapkan dalam percobaan. Pada Regosol koefisien X² bernilai negatif, berarti daya pengaruh SKL menekan hasil sudah terjadi pada takaran di bawah takaran tertinggi yang dicobakan. Hal ini barangkali berkaitan dengan keracunan

logam berat. Pada Vertisol dan Ferralsol daya pengaruh SKL menekan hasil baru terjadi pada takaran lebih tinggi karena kedua macam tanah ini berdaya sangga kuat terhadap kation. Serapan logam berat menjadi terkekang, sehingga pada takaran tertinggi SKL pun ambang batas peracunan belum tercapai. Regosol berdaya sangga lemah, maka ambang batas peracunan lebih cepat tercapai. Perhatikan KPK ketiga macam tanah dalam Daftar 1.

SKL meningkatkan hasil tongkol jagung dan bandingan beratnya terhadap berat biomassa total tanaman (tongkol + daun + batang + akar). Akan tetapi daya pengaruhnya tidak sejelas dan se-pangah (consistent) seperti pada trubus bayam cabut. Pada Vertisol dan Ferralsol pengaruh meningkatkan hasil baru nyata pada takaran tinggi. Daya pengaruh jelas dan pangah dijumpai pada Regosol. Lihat Daftar 4.

Persamaan regresi terbaik takaran SKL (X) atas berat kering tongkol jagung (Y) pada macam tanah masing-masing adalah:

$$\text{Vertisol } Y = 3,19 - 0,07 X + 0,0007 X^2 \text{ dengan } R^2 = 1$$

$$\text{Ferralsol } Y = 0,82 + 0,03 X + 0,0002 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,99$$

$$\text{Regosol } Y = 0,12 + 0,05 X - 0,0001 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,97$$

Di sini juga tampak daya pengaruh SKL menekan hasil terjadi lebih awal pada Regosol.

Gambaran pada ubijalar berlawanan dengan pada bayam cabut dan jagung. Pada Ferralsol dan Regosol takaran rendah SKL agak menaikkan hasil umbi, akan tetapi selanjutnya SKL sangat menekan hasil umbi. Pada Vertisol penekanan hasil umbi oleh SKL justru paling jelas karena terjadi sejak takaran terendah. Pada ketiga macam tanah SKL sangat jelas menurunkan bandingan berat umbi terhadap berat biomassa total tanaman (trubus + akar + umbi). Lihat Daftar 5.

Persamaan regresi terbaik takaran SKL (X) atas berat segar umbi ubijalar (Y) pada macam tanah masing-masing adalah:

$$\text{Vertisol } Y = 73,15 - 0,27 X - 0,0003 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,99 \text{ atau}$$

$$Y = 71,71 - 0,21 X \text{ dengan } R^2 = 0,99$$

$$\text{Ferralsol } Y = 41,19 + 0,11 X - 0,0009 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,83$$

$$\text{Regosol } Y = 67,14 + 0,27 X - 0,0018 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,87$$

Penekanan hasil umbi oleh SKL terjadi sangat awal dan pada Ferralsol dan Regosol menutupi daya pengaruhnya menaikkan hasil umbi pada takaran rendah. Daya pengaruh SKL atas berat segar akar

ubijalar mengikuti gejala umum seperti pada trubus segar bayam cabut dan tongkol kering jagung. Secara organogenesis umbi ubijalar adalah akar yang beralih fungsi menjadi penimbun fotosintat pati. Anomali yang terjadi pada umbi barangkali berkaitan dengan proses anabolisme penimbunan pati yang rupa-rupanya sangat peka terhadap pengaruh logam berat.

Daftar 3. Daya pengaruh SKL dan tanah atas berat segar trubus bayam cabut (g per pot) dan bandingannya (%) terhadap berat segar biomassa total (trubus + akar)

Takaran SKL	Berat segar trubus			Purata SKL	Berat trubus/biomassa total			Purata SKL
	Vertisol	Ferralsol	Regosol		Vertisol	Ferralsol	Regosol	
S0	2,5 (1,0)	0,2 (1,0)	1,2 (1,0)	1,3	88	90	86	87
S1	9,2 (3,6)	1,2 (6,6)	5,2 (4,3)	5,2	91	94	91	91
S2	6,0 (2,4)	2,0 (11,3)	11,0 (8,9)	6,3	92	93	92	92
S3	17,2 (6,8)	2,4 (13,1)	25,4 (20,7)	15,0	94	94	94	94
S4	32,1 (12,7)	3,0 (16,4)	30,9 (25,1)	22,0	94	92	94	94
Purata tanah	13,4	1,8	14,7		93	92	94	

S0 - S4 = takaran per pot. Angka dikurung = angka indeks nisbi terhadap angka S0. Purata SKL menunjukkan daya pengaruh tiap takaran SKL tanpa memperhatikan pengaruh faktor tanah. Purata tanah menunjukkan daya pengaruh tiap macam tanah tanpa memperhatikan pengaruh faktor SKL.

Daftar 4. Daya pengaruh SKL dan tanah atas berat kering tongkol jagung (g per pot) dan bandingannya (%) terhadap berat kering biomassa total (tongkol + trubus + akar)

Takaran SKL	Berat kering tongkol			Purata SKL	Berat tongkol/biomassa total			Purata SKL
	Vertisol	Ferralsol	Regosol		Vertisol	Ferralsol	Regosol	
S0	3,2 (1,0)	1,1 (1,0)	0,0 (0,0)	1,4	8	5	0	5
S1	2,4 (0,7)	1,5 (1,3)	0,9 (1,0)	1,6	5	5	2	4
S2	1,4 (0,4)	1,8 (1,6)	2,6 (2,9)	1,9	3	5	5	4
S3	2,0 (0,6)	5,0 (4,5)	3,1 (3,5)	3,4	3	10	5	6
S4	7,7 (2,4)	10,4 (9,5)	5,9 (6,6)	8,0	12	16	8	12
Purata tanah	3,3	4,0	2,5		6	9	5	

S0 - S4 = takaran per pot. Angka dikurung = angka indeks nisbi terhadap angka S0. Purata SKL menunjukkan daya pengaruh tiap takaran SKL tanpa memperhatikan pengaruh faktor tanah. Purata tanah menunjukkan daya pengaruh tiap macam tanah tanpa memperhatikan pengaruh faktor SKL.

Daftar 5. Daya pengaruh SKL dan tanah atas berat segar umbi ubijah (g per pot) dan bandingannya (%) terhadap berat segar biomassa total (trubus + akar + umbi)

Takaran SKL	Berat segar umbi			Purata SKL	Berat umbi/biomassa total		
	Vertisol	Ferralsol	Regosol		Vertisol	Ferralsol	Regosol
S0	74,4 (1,0)	36,9 (1,0)	61,3 (1,0)	57,5	48	42	54
S1	63,9 (0,9)	50,2 (1,4)	81,9 (1,3)	65,3	31	29	43
S2	60,0 (0,8)	44,0 (1,2)	76,7 (1,3)	60,2	24	21	31
S3	47,7 (0,6)	39,4 (1,1)	71,3 (1,2)	52,8	18	16	20
S4	27,0 (0,4)	22,4 (0,6)	42,2 (0,7)	30,5	9	7	11
Purata tanah	54,6	38,6	66,7		23	18	26

S0 - S4 = takaran per pot. Angka dikurung = angka indeks nisbi terhadap angka S0. Purata SKL jukkan daya pengaruh tiap takaran SKL tanpa memperhatikan pengaruh faktor tanah. Purata tanah jukkan daya pengaruh tiap macam tanah tanpa memperhatikan pengaruh faktor SKL.

Daya pengaruh SKL terhadap hasil buah tomat rupa-rupanya bergantung sekali pada macam tanah. Pada Vertisol hasil tertinggi dicapai pada takaran menengah SKL dan takaran tertinggi sangat menekan hasil. Pada Ferralsol takaran SKL boleh dikatakan tidak mempengaruhi hasil. Pada Regosol penambahan SKL sampai dengan takaran tinggi sangat jelas meningkatkan hasil dan selanjutnya sampai dengan takaran tertinggi hasil buah boleh dikatakan tidak berubah. Lihar Daftar 6.

Daftar 6. Daya pengaruh SKL dan tanah atas berat segar buah tomat (g per pot) dan bandingannya (%) terhadap berat segar biomassa total (trubus + buah + akar)

Takaran SKL	Berat segar buah			Purata SKL	Berat buah/biomassa total		
	Vertisol	Ferralsol	Regosol		Vertisol	Ferralsol	Regosol
S0	21,8 (1,0)	0	0	7,3	19	0	0
S1	67,8 (3,1)	46,9 (1,0)	4,9 (1,0)	39,8	36	45	5
S2	90,6 (4,2)	45,4 (1,0)	33,5 (6,8)	56,5	42	34	20
S3	75,9 (3,5)	25,5 (0,5)	54,7 (11,2)	52,0	32	17	23
S4	31,7 (1,5)	49,2 (1,0)	51,1 (10,4)	44,0	12	24	15
Purata tanah	57,5	33,4	28,8		28	27	16

S0 - S4 = takaran per pot. Angka dikurung = angka indeks nisbi terhadap angka S0. Purata SKL jukkan daya pengaruh tiap takaran SKL tanpa memperhatikan pengaruh faktor tanah. Purata tanah jukkan daya pengaruh tiap macam tanah tanpa memperhatikan pengaruh faktor SKL.

Persamaan regresi terbaik takaran SKL (X) atas berat segar buah tomat (Y) pada macam tanah masing-masing adalah:

$$\text{Vertisol } Y = 33,08 + 1,60 X - 0,01 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,82$$

$$\text{Ferralsol } Y = 6,07 + 1,64 X - 0,01 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,82$$

$$\text{Regosol } Y = -5,38 + 1,19 X - 0,005 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,95$$

Daya pengaruh SKL atas hasil buah yang pada Ferralsol boleh dikatakan tidak tampak, sangat boleh jadi disebabkan karena tanah tersebut miskin fosfat, sedang tambahan fosfat dari SKL sangat sedikit dan imbangannya dengan N dalam SKL sangat timpang (lihat Daftar 1 dan 2).

Daftar 7 memuat kadar logam berat terpilih dalam jaringan trubus segar bayam cabut, tongkol kering jagung, umbi segar ubijalar dan buah segar tomat. Terlihat bahwa tidak mesti ada hubungan sejalan antara urutan kadar logam berat dalam tanah atau SKL dan urutan kadarnya dalam jaringan tanaman. Dalam SKL kadar total logam berat berurutan $Zn > Cu = Ni > Fe > Mn = Pb$. Dalam ketiga macam tanah logam berat menurut kadarnya dapat dipilahkan menjadi tiga kelompok. Kelompok atas terdiri atas Fe dan Mn, kelompok tengah terdiri atas Zn dan Cu, dan kelompok bawah terdiri atas Ni dan Pb. Menurut kadar total, Fe selalu $>$ Mn, akan tetapi menurut kadar tersediaan urutannya selalu terbalik. Zn selalu $>$ Cu, kecuali dalam hal kadar tersediaan dalam Ferralsol yang $Cu > Zn$. Ni selalu $>$ Pb, kecuali kadar totalnya dalam Ferralsol yang Pb boleh dikatakan sama dengan Ni.

Dalam organ tanaman yang diamati, kadar Fe selalu tertinggi secara mencolok, yang tidak bergantung pada macam tanah dan takaran SKL. Dalam kebanyakan hal kadar logam berat terendah ialah Ni atau Cu. Kadar Ni terendah dalam trubus bayam cabut di Vertisol dan Regosol, dalam umbi ubi-jalar di Vertisol dan Regosol, dan dalam buah tomat di Regosol. Kadar Cu terendah dalam trubus bayam cabut di Ferralsol, dan dalam tongkol jagung di ketiga macam tanah. Kadar terendah dalam umbi ubijalar di Ferralsol ialah Zn, dan dalam buah tomat di Vertisol dan Ferralsol ialah Pb.

Dalam trubus bayam cabut dan tongkol jagung di ketiga macam tanah, dan dalam buah tomat di Ferralsol, kadar Cu, Ni dan Pb berada pada aras bawah. Yang berada pada aras atas ialah kadar Fe, Zn dan Mn. Dalam buah tomat di Vertisol dan Regosol, kedudukan Cu dan Mn bertukar. Cu masuk aras atas dan Mn masuk aras bawah. Agihan logam berat dalam umbi ubijalar menyimpang dari agihannya dalam organ-organ yang lain. Kadar Pb meloncat menduduki aras atas dengan menggeser Mn (di Vertisol) atau menggeser

Daftar 7. Daya pengaruh SKL dan tanah atas kadar logam berat dalam jaringan tanaman (ppm).

Tanaman	Logam	Vertisol					Ferralsol					Regosol		
		S0	S1	S2	S3	S4	S0	S1	S2	S3	S4	S0	S1	S2
Trubus segar bayam:	Pb	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	2.0	2.9	3.8	4.6	6.2	0.8	1.5	1.1
	Ni	0.6	0.0	0.1	0.7	0.2	1.4	2.2	4.6	6.2	6.6	0.4	0.4	0.1
	Zn	29.8	33.2	32.7	29.8	35.4	46.8	118.8	147.2	156.4	150.7	22.8	12.8	22.3
	Cu	0.5	0.7	0.8	0.7	0.9	2.0	1.4	1.9	2.4	2.2	2.5	1.1	1.2
	Fe	65.2	64.0	44.9	42.2	29.6	144.3	125.4	190.1	193.0	189.0	57.8	83.2	24.8
	Mn	2.4	6.8	9.0	6.8	5.6	66.3	64.9	77.1	80.5	77.0	4.8	5.0	1.1
Tongkol kering jagung	Pb	60.9	44.3	41.8	26.7	25.0	9.8	33.1	75.1	9.3	19.2	0.0	18.6	34.7
	Ni	31.7	52.4	23.3	5.3	23.9	16.7	21.6	21.7	23.5	11.5	0.0	11.1	12.7
	Zn	50.1	54.4	62.1	66.5	89.6	4.2	40.5	84.2	0.2	120.7	0.0	147.8	47.1
	Cu	5.2	7.0	6.7	5.3	7.9	8.3	5.8	20.7	8.8	10.5	0.0	5.6	11.4
	Fe	148.3	173.0	157.1	120.0	183.2	18.2	96.6	180.8	112.0	62.2	0.0	66.7	192.1
	Mn	50.5	25.3	64.3	60.0	66.2	18.2	82.8	118.6	108.0	107.7	0.0	11.1	31.0
Umbi segar ubijalar	Pb	2.9	5.3	3.4	16.4	6.3	7.0	4.8	4.9	3.6	2.3	3.8	4.4	5.1
	Ni	1.0	1.4	0.5	1.0	0.6	1.1	1.0	1.9	6.7	1.9	0.2	0.2	1.0
	Zn	2.1	0.9	1.2	2.1	0.7	0.7	1.9	3	1.1	0.4	1.4	0.7	1.1
	Cu	0.6	0.6	1.2	1.6	2.9	0.8	1.0	1.9	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3
	Fe	26.6	19.7	19.8	17.0	14.0	27.3	22.3	21.8	21.8	12.9	12.8	13.2	12.9
	Mn	0.9	0.9	1.4	1.2	2.6	2.5	2.2	15.4	8.8	5.5	2.0	2.3	1.1
Buah segar tomat	Pb	0.0	0.1	0.3	0.6	0.8	0.0	0.2	0.6	0.2	0.7	0.0	0.4	0.1
	Ni	0.6	0.2	0.7	-0.8	1.4	0.0	0.2	0.5	0.9	1.6	0.0	0.0	0.1
	Zn	0.0	0.3	4.6	7.3	7.9	0.0	8.3	11.1	5.9	4.3	0.0	27.7	18.9
	Cu	0.0	0.7	1.2	1.2	0.7	0.0	0.5	0.8	1.1	0.9	0.0	0.7	2.9
	Fe	0.0	7.4	16.7	31.1	18.2	0.0	12.4	56.2	101.9	62.7	0.0	112.3	102.0
	Mn	0.0	0.4	0.6	1.1	1.2	0.0	0.8	1.5	1.5	0.8	0.0	0.4	1.1

Zn (di Ferralsol dan Regosol). Hal ini bolehjadi menjadi sebab terjadinya anomali dalam nasabah antara takaran SKL dan berat segar umbi ubijalar yang dikemukakan terdahulu. Pb mengganggu metabolisme sel dan berinteraksi dengan gugus sulfhidril ($-SH$) yang membuatnya tidak dapat menjalankan fungsi biokimianya (Horne, 1978).

Dengan memperhatikan urutan kadar logam berat dalam tanah, SKL dan organ tanaman dapatlah disimpulkan bahwa kadar Fe dalam organ tanaman lebih ditentukan oleh tanah daripada oleh SKL. Persamaan regresi takaran SKL (X) atas kadar Fe dalam organ tanaman (Y) tidak memberikan R^2 yang panggah. Dalam hal trubus segar bayam cabut nasabah murad (significant relationship) hanya dijumpai di Vertisol dengan persamaan.

$$Y = 66,57 - 1,10 X + 0,01 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,92 \text{ atau}$$

$$Y = 62,56 - 0,56 X \text{ dengan } R^2 = 0,86$$

Dalam hal tongkol kering jagung tidak ada nasabah murad di ketiga macam tanah. Nasabah murad di ketiga macam tanah terdapat pada umbi segar ubijalar dengan persamaan

$$\begin{aligned} \text{Vertisol} & Y = 25,08 - 0,12 X + 0,0003 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,89 \\ \text{Ferralsol} & Y = 25,55 - 0,04 X - 0,0001 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,90 \text{ atau} \\ & Y = 25,88 - 0,06 X \text{ dengan } R^2 = 0,89 \\ \text{Regosol} & Y = 14,32 - 0,15 X + 0,002 X^2 \text{ dengan } R^2 = 1 \end{aligned}$$

Dalam hal buah segar tomat nasabah murad terdapat di dua macam tanah dengan persamaan

$$\begin{aligned} \text{Vertisol} & Y = -0,40 + 0,48 X - 0,001 X^2 \text{ dengan } R^2 = 1 \text{ atau} \\ & Y = 1,51 + 0,37 X \text{ dengan } R^2 = 0,99 \\ \text{Ferralsol} & Y = 5,66 + 1,19 X - 0,006 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,84 \end{aligned}$$

Rupa-rupanya hanya dalam hal umbi ubijalar kadar Fe ditentukan langsung oleh takaran SKL.

Persamaan regresi takaran SKL atas kadar Zn dalam organ tanaman yang mengunjukkan nasabah murad ialah:

Trubus segar bayam cabut

$$\text{Ferralsol} \quad Y = 62,27 + 5,62 X - 0,067 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,89$$

Tongkol kering jagung

$$\begin{aligned} \text{Vertisol} & Y = 50,82 + 0,22 X + 0,0003 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,99 \text{ atau} \\ & Y = 50,05 + 0,27 X \text{ dengan } R^2 = 0,98 \\ \text{Ferralsol} & Y = 10,50 + 1,80 X - 0,007 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,94 \end{aligned}$$

Umbi segar ubijalar

$$\begin{aligned} \text{Regosol} & Y = 1,28 - 0,01 X + 0,00002 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,83 \text{ atau} \\ & Y = 1,18 - 0,01 X \text{ dengan } R^2 = 0,80 \end{aligned}$$

Buah segar tomat

$$\text{Vertisol} \quad Y = -0,03 + 0,15 X - 0,0006 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 1$$

Di sini pengaruh tanah jelas pula.

Persamaan regresi takaran SKL atas kadar Mn dalam organ tanaman yang mengunjukkan nasabah murad ialah:

Trubus segar bayam cabut

$$\text{Ferralsol} \quad Y = 63,99 + 0,81 X - 0,0056 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,82$$

Tongkol kering jagung tidak memperlihatkan nasabah murad.

Umbi segar ubijalar

$$\begin{aligned} \text{Vertisol} & Y = 0,91 + 0,004 X + 0,000005 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,86 \text{ atau} \\ & Y = 0,88 + 0,01 X \text{ dengan } R^2 = 0,86 \\ \text{Regosol} & Y = 1,87 + 0,02 X - 0,00008 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,81 \end{aligned}$$

Buah segar tomat

$$\begin{aligned} \text{Vertisol} & Y = 0,01 + 0,02 X - 0,00009 X^2 \text{ dengan } R^2 = 1 \\ \text{Ferralsol} & Y = 0,12 + 0,04 X - 0,00025 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,92 \\ \text{Regosol} & Y = 0,11 + 0,017 X - 0,00003 X^2 \text{ dengan } R^2 = 0,90 \text{ atau} \\ & Y = 0,19 + 0,012 X \text{ dengan } R^2 = 0,89 \end{aligned}$$

Di sini pengaruh takaran SKL hanya jelas pada buah segar tomat.

Persamaan regresi takaran SKL atas kadar Cu dalam organ tanaman yang mengunjukkan nasabah murad ialah:

Trubus segar bayam cabut

$$\text{Vertisol } Y = 0,53 + 0,01 X - 0,00007 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,81$$

Tongkol kering jagung tidak memperlihatkan nasabah murad.

Umbi segar ubijalar

$$\begin{aligned} \text{Vertisol } Y &= 0,58 + 0,01 X + 0,00001 X^2 && \text{dengan } R^2 = 0,99 \text{ atau} \\ Y &= 0,51 + 0,01 X && \text{dengan } R^2 = 0,98 \end{aligned}$$

Buah segar tomat

$$\text{Vertisol } Y = 0,11 + 0,03 X - 0,0002 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,91$$

$$\text{Ferralsol } Y = 0,03 + 0,02 X - 0,0001 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 1$$

Persamaan regresi takaran SKL atas kadar Pb dalam organ tanaman yang mengunjukkan nasabah murad ialah:

Trubus segar bayam cabut

$$\text{Vertisol } Y = 0,10 + 0,01 X - 0,0001 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,97$$

$$\text{Ferralsol } Y = 2,07 + 0,11 X - 0,0007 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,99 \text{ atau}$$

$$Y = 2,39 + 0,06 X \quad \text{dengan } R^2 = 0,96$$

$$\text{Regosol } Y = 0,87 + 0,15 X - 0,0017 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,84$$

Tongkol kering jagung

$$\text{Vertisol } Y = 59,25 - 0,65 X + 0,0029 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,97$$

Umbi segar ubijalar

$$\text{Regosol } Y = 1,28 - 0,01 X + 0,00002 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,83 \text{ atau}$$

$$Y = 1,18 - 0,01 X \quad \text{dengan } R^2 = 0,80$$

Buah segar tomat

$$\text{Vertisol } Y = -0,03 + 0,01 X - 0,00004 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,99 \text{ atau}$$

$$Y = 0,07 + 0,0056 X \quad \text{dengan } R^2 = 0,92$$

$$\text{Regosol } Y = 0,18 + 0,0003 X + 0,0001 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,97 \text{ atau}$$

$$Y = -0,16 + 0,02 X \quad \text{dengan } R^2 = 0,90$$

Hanya pada trubus segar bayam cabut kadar Pb ditentukan langsung oleh takaran SKL.

Persamaan regresi takaran SKL atas kadar Ni dalam organ tanaman yang mengunjukkan nasabah murad ialah:

Trubus segar bayam cabut

$$\text{Vertisol } Y = -0,02 + 0,01 X - 0,0001 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,83$$

$$\text{Ferralsol } Y = 1,10 + 0,23 X - 0,0023 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,97$$

$$\text{Regosol } Y = 0,31 + 0,03 X - 0,0003 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,91 \text{ atau}$$

$$Y = 0,44 + 0,013 X \quad \text{dengan } R^2 = 0,81$$

Tongkol kering jagung

$$\text{Ferralsol } Y = 17,13 + 0,21 X - 0,0017 X^2 \quad \text{dengan } R^2 = 0,97$$

Tidak ada nasabah murad pada umbi segar ubijalar.

Buah segar tomat

Vertisol	$Y = 0,02 + 0,02 X - 0,00004 X^2$	dengan $R^2 = 0,97$	atau
	$Y = 0,13 + 0,009 X$	dengan $R^2 = 0,93$	
Ferralsol	$Y = -0,03 + 0,02 X - 0,00007 X^2$	dengan $R^2 = 0,99$	atau
	$Y = 0,16 + 0,007 X$	dengan $R^2 = 0,82$	
Regosol	$Y = 0,01 + 0,008 X + 0,00004 X^2$	dengan $R^2 = 0,95$	atau
	$Y = -0,11 + 0,014 X$	dengan $R^2 = 0,94$	

Pengaruh langsung takaran SKL tampak pada trubus segar bayam cabut dan buah segar tomat.

Data yang diajukan tadi mengunjukkan bahwa SKL berpengaruh langsung atas serapan Fe ke dalam umbi ubijalar, Mn dan Ni ke dalam buah tomat, dan Pb serta Ni ke dalam trubus bayam cabut. Ini berarti bahwa secara umum, dan apabila tanaman penguji dapat mewakili kelompoknya masing-masing dan sifat ketiga macam tanah yang digunakan dalam pengujian boleh dikatakan mewakili keseluruhan kisaran sifat tanah-tanah pertanian utama, penggunaan SKL untuk pupuk dapat menimbulkan pada orang keracunan Fe karena makan umbi, keracunan Mn dan Ni karena makan buah, dan keracunan Pb dan Ni karena makan sayuran daun. Oleh karena Ni dan Pb lebih beracun daripada Fe dan Mn, SKL lebih berbahaya kalau dipupukan pada tanaman buah dan sayuran daun.

Kalau dikaitkan dengan daya pengaruh macam tanah, Vertisol menambah bahaya keracunan Fe dan Cu lewat sayuran daun, menimbulkan bahaya keracunan Zn dan Pb lewat biji-bijian, menambah bahaya keracunan Mn dan Cu lewat umbi, dan menambah bahaya keracunan Fe, Zn, Cu dan Pb lewat buah-buahan. Ferralsol menambah bahaya keracunan Zn dan Mn lewat sayuran daun, menimbulkan bahaya keracunan Zn dan Ni lewat biji-bijian, dan menambah bahaya keracunan Fe dan Cu lewat buah-buahan. Regosol menambah bahaya keracunan Zn, Mn dan Pb lewat umbi-umbian, dan menambah bahaya keracunan Pb lewat buah-buahan. Jadi, SKL sebagai pupuk lebih berbahaya pada tanaman sereal yang ditanam di tanah lempung berat (diwakili Vertisol) dan di tanah merah tropika (diwakili Ferralsol), pada tanaman buah-buahan yang ditanam di tanah lempung berat dan di tanah muda bertekstur kasar (diwakili Regosol), dan pada tanaman umbi-umbian yang ditanam di tanah muda bertekstur kasar. Pendapat ini didasarkan atas pengertian bahwa Pb dan Ni lebih beracun daripada logam berat yang lain.

Bahaya keracunan mengandung pengertian potensial, tidak berarti meracun secara serta-merta. Daya meracun langsung atas orang (atau hewan) ditentukan oleh kadar logam berat dalam jaringan tanaman dan banyaknya bahan bersangkutan yang dimakan sehari-hari. Ambang batas peracunan masih lagi ditentukan oleh berat badan pemakan bahan yang mengandung logam berat. Makin berat

badan, ambang batas peracunan biasanya makin tinggi. Namun demikian dalam masalah pencemaran dakhil akibat kumulatif selama jangka waktu panjang lebih penting, sehingga apa yang telah dikemukakan mengenai potensi peracunan hendaknya diterima sebagai peringatan dini.

Sehubungan dengan akibat kumulatif maka perlu diperhatikan pelonggokan berangsur logam-logam berat dalam tanah karena pemupukan dengan SKL secara terus menerus. Logam-logam ini tidak mudah berpindah tempat dalam tanah, sehingga tidak mungkin menyingkirkannya, apalagi dalam tanah lempung berat semacam Vertisol yang sangat kuat menahan ion logam dan tambahan pula mempunyai permeabilitas yang sangat terbatas. Percobaan di Woburn (Inggris) menunjukkan bahwa penggunaan SKL terus menerus sebanyak setara $45 \text{ ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ selama 16 tahun mencemari tanah dengan Zn, Cu, Ni, Cr dan Pb. Pencemaran paling berat oleh Zn dan pada urutan berikutnya ialah Ni dan Cu. Menurut para peneliti Amerika Serikat, SKL yang beracun berasal dari limbah industri. Mereka juga menemukan bahwa yang biasanya meracun ialah Zn dan Cu. Akibat pertanaman yang dipupuk dengan SKL atas bahan pangan atau pakan yang dihasilkan belum diketahui (Cooke, 1970).

Sampai sekarang masih sulit menetapkan aras gawat kadar logam berat dalam tanah. Hal ini disebabkan karena (1) pengambilan logam berat tergantung pada macam tanaman dan keadaan tanah, dan (2) terjadi antagonisme antar logam berat dalam serapan, misalnya antara Cu, Fe dan Zn (Tisdale dkk., 1985; Mengel & Kirkby, 1987). Daftar 8 s.d 11 memuat kadar logam berat yang tersisa dalam tanah setelah tanaman pengujian dipanen dan dibongkar. Jelas sekali kecenderungannya melonggok.

Kesimpulan Dan Saran

Persoalan pencemaran adalah persoalan jangka panjang karena akibatnya muncul secara berangsur dan kumulatif. Pada awalnya akibatnya belum terasa, akan tetapi setelah akibatnya mulai terasa, skala atau tingkat dampaknya biasanya sudah terlanjur besar yang sulit ditangani. Maka yang perlu sekali dikerjakan ialah menyidik pencemaran pada waktu masih berada pada tahap awal, sehingga masih mudah ditanggulangi.

Pencemaran dakhil lewat rantai pangan atau pakan lebih berbahaya. Pencemaran ini menyebar lewat perdagangan komoditas, sehingga dapat memberikan dampak luas sekali. Penanggulangannya sulit karena sukar atau nyaris tidak mungkin merunut sumbernya. Pen-

Daftar 8. Daya pengaruh SKL atas kadar logam berat dalam tanah sebelum dan sesudah ditanami bayam.

Tanah	Kadar logam berat dalam tanah sebelum ditanami bayam (ppm)					Jumlah yang diangkat tanaman (ppm tanah)					Sisa logam berat dalam tanah setelah ditanami bayam (ppm)				
	D0	D1	D2	D3	D4	D0	D1	D2	D3	D4	D0	D1	D2	D3	D4
Vertisol	1100,0	1102,6	1105,2	1110,5	1120,9	0,1	0,2	0,6	0,6	0,7	1099,9	1102,4	1104,7	1109,9	1120,2
Ferralsol	1100,0	1102,6	1105,2	1110,5	1120,9	0,0	0,1	0,3	0,4	0,4	1100,0	1102,5	1104,9	1110,1	1120,5
Regosol	940,0	942,6	945,2	950,5	960,9	0,6	0,7	0,5	0,3	0,1	939,4	941,9	944,7	950,1	960,8
Vertisol	699,9	700,6	701,4	703,0	706,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	699,8	700,6	701,4	703,0	706,1
Ferralsol	646,7	647,4	648,2	649,8	653,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	646,7	647,4	648,2	649,7	652,9
Regosol	286,2	287,0	287,8	289,4	292,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	286,2	287,0	287,8	289,3	292,5
Vertisol	10,5	11,2	11,9	13,3	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	11,2	11,9	13,3	16,0
Ferralsol	15,1	15,8	16,4	17,8	20,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,1	15,8	16,4	17,8	20,6
Regosol	5,6	6,3	7,0	8,4	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	5,6	6,3	7,0	8,3	11,1
Vertisol	49,8	61,2	72,7	95,6	141,5	0,0	0,1	0,1	0,2	0,5	49,8	61,1	72,6	95,5	141,0
Ferralsol	42,7	54,1	65,6	88,5	134,3	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	42,7	54,0	65,5	88,3	134,1
Regosol	20,7	32,1	43,6	66,6	112,4	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	20,7	32,1	43,6	66,3	112,0
Vertisol	27,7	34,3	41,0	54,3	80,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,7	34,3	41,0	54,3	80,9
Ferralsol	35,4	42,0	48,7	62,0	88,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,4	42,0	48,7	62,0	88,6
Regosol	18,7	25,3	32,0	45,3	71,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,7	25,3	32,0	45,3	71,9
Vertisol	28,8	35,4	42,1	55,4	81,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,8	35,4	42,1	55,4	81,9
Ferralsol	14,9	21,4	28,1	41,4	68,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	21,4	28,1	41,4	68,0
Regosol	6,4	13,0	19,7	32,9	59,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	13,0	19,6	32,9	59,5

Daftar 9. Daya pengaruh SKL atas kadar logam berat dalam tanah sebelum dan sesudah ditanami jagung.

Logam berat	Tanah	Kadar logam berat dalam tanah sebelum ditanami jagung (ppm)					Jumlah yang diangkat tanaman (ppm tanah)					Sisa logam berat dalam tanah setelah ditanami jagung (ppm)				
		D0	D1	D2	D3	D4	D0	D1	D2	D3	D4	D0	D1	D2	D3	D4
Fe	Vertisol	1100,0	1101,5	1103,0	1106,0	1112,0	2,0	1,9	2,7	3,0	2,6	1098,0	1099,6	1100,3	1103,0	1103,0
	Ferralsol	1100,0	1101,5	1103,0	1106,0	1112,0	1,0	2,0	1,7	2,0	2,2	1099,0	1099,5	1101,3	1104,0	1104,0
	Regosol	940,0	941,5	943,0	946,0	952,0	1,3	1,5	1,5	2,1	2,3	938,7	940,0	941,5	943,9	943,9
Mn	Vertisol	699,9	700,3	700,8	701,7	703,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	699,3	699,8	700,3	701,1	701,1
	Ferralsol	646,7	647,1	647,6	648,5	650,3	0,5	0,5	0,7	1,1	1,8	646,2	646,6	646,8	647,4	647,4
	Regosol	286,2	286,7	287,1	288,0	289,9	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	286,1	286,6	287,0	287,9	287,9
Pb	Vertisol	10,5	10,9	11,3	12,1	13,7	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	10,5	10,9	11,3	12,0	12,0
	Ferralsol	15,1	15,5	15,9	16,7	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	15,0	15,4	15,8	16,6	16,6
	Regosol	5,6	6,0	6,4	7,2	8,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	5,6	6,0	6,4	7,1	7,1
Zn	Vertisol	49,8	56,4	63,0	76,2	102,5	0,2	0,1	0,2	0,2	0,5	49,7	56,3	62,8	75,9	75,9
	Ferralsol	42,7	49,3	55,8	69,0	95,4	0,3	0,3	0,5	0,6	1,0	42,4	49,0	55,3	68,5	68,5
	Regosol	20,7	27,3	33,9	47,1	73,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	20,7	27,3	33,8	46,9	46,9
Cu	Vertisol	27,7	31,5	35,3	43,0	58,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	27,6	31,4	35,3	42,9	42,9
	Ferralsol	35,4	39,2	43,0	50,7	66,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,4	39,2	43,0	50,6	50,6
	Regosol	18,7	22,5	26,3	34,0	49,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,7	22,5	26,3	33,9	33,9
Ni	Vertisol	28,8	32,6	36,4	44,1	59,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	28,8	32,6	36,4	44,0	44,0
	Ferralsol	14,9	18,7	22,5	30,1	45,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	14,8	18,7	22,4	30,1	30,1
	Regosol	6,4	10,2	14,0	21,6	36,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	6,4	10,2	14,0	21,6	21,6

Daftar 10. Daya pengaruh SKL atas kadar logam berat dalam tanah sebelum dan sesudah ditanami ubijalar.

Logam berat	Tanah	Kadar logam berat dalam tanah sebelum ditanami ubijalar (ppm)					Jumlah yang diangkut tanaman (ppm tanah)					Sisa logam berat dalam tanah setelah ditanami ubijalar (ppm)				
		D0	D1	D2	D3	D4	D0	D1	D2	D3	D4	D0	D1	D2	D3	D4
Fe	Vertisol	1100,0	1101,6	1103,2	1106,3	1112,6	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	1099,7	1101,3	1102,8	1105,9	1112,1
	Ferralsol	1100,0	1101,6	1103,2	1106,3	1112,6	0,4	0,9	1,1	1,8	1,0	1099,7	1100,7	1102,0	1104,6	1111,7
	Regosol	940,0	941,6	943,2	946,3	952,6	0,3	0,4	0,5	0,7	0,3	939,7	941,1	942,6	945,6	952,4
Mn	Vertisol	699,9	700,3	700,8	701,8	703,7	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	699,8	700,2	700,6	701,5	703,4
	Ferralsol	646,7	647,1	647,6	648,6	650,5	0,1	0,3	0,4	0,5	2,6	646,5	646,8	647,2	648,1	647,8
	Regosol	286,2	286,7	287,2	288,1	290,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	286,2	286,7	287,1	288,0	290,0
Pb	Vertisol	10,5	10,9	11,4	12,2	13,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	10,5	10,9	11,3	12,1	13,8
	Ferralsol	15,1	15,5	15,9	16,7	18,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	15,5	15,9	16,7	18,4
	Regosol	5,6	6,0	6,4	7,3	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	6,0	6,4	7,2	8,9
Zn	Vertisol	49,8	56,8	63,6	77,5	105,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	49,8	56,7	63,6	77,4	105,0
	Ferralsol	42,7	49,6	56,5	70,4	98,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	42,7	49,6	56,5	70,3	97,9
	Regosol	20,7	27,7	34,6	48,4	76,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	20,7	27,6	34,5	48,3	75,9
Cu	Vertisol	27,7	31,7	35,7	43,7	59,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,7	31,7	35,7	43,7	59,8
	Ferralsol	35,4	39,4	43,4	51,5	67,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,4	39,4	43,4	51,4	67,5
	Regosol	18,7	22,7	26,7	34,8	50,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	18,7	22,7	26,7	34,7	50,8
Ni	Vertisol	28,8	32,8	36,8	44,8	60,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,8	32,8	36,8	44,8	60,9
	Ferralsol	14,9	18,9	22,9	30,9	46,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	18,9	22,8	30,9	46,9
	Regosol	6,4	10,4	14,4	22,4	38,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	10,4	14,4	22,4	38,4

Daftar 11. Daya pengaruh SKL atas kadar logam berat dalam tanah sebelum dan sesudah ditanami tomat.

Logam berat	Tanah	Kadar logam berat dalam tanah sebelum ditanami tomat (ppm)					Jumlah yang diangkat tanaman (ppm tanah)					Sisa logam berat dalam tanah setelah ditanami tomat (ppm)				
		D0	D1	D2	D3	D4	D0	D1	D2	D3	D4	D0	D1	D2	D3	D4
Fe	Vertisol	1100,0	1101,5	1103,0	1106,0	1112,0	0,8	0,9	1,0	1,5	2,6	1099,2	1100,6	1102,0	1104,5	1109,4
	Ferralsol	1100,0	1101,5	1103,0	1106,0	1112,0	1,9	3,1	3,5	2,9	4,3	1098,1	1098,4	1099,5	1103,1	1107,8
	Regosol	940,0	941,5	943,0	946,0	952,0	1,1	1,7	2,3	4,1	9,0	938,9	939,8	940,7	941,9	943,0
Mn	Vertisol	699,9	700,3	700,8	701,7	703,5	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	699,8	700,2	700,6	701,5	703,0
	Ferralsol	646,7	647,1	647,6	648,5	650,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,7	646,6	646,9	647,3	648,2	649,6
	Regosol	286,2	286,7	287,1	288,0	289,9	0,0	0,1	0,1	0,3	0,4	286,2	286,6	287,0	287,7	289,5
Pb	Vertisol	10,5	10,9	11,3	12,1	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	10,5	10,9	11,3	12,1	13,5
	Ferralsol	15,1	15,5	15,9	16,7	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,1	15,5	15,9	16,6	18,2
	Regosol	5,6	6,0	6,4	7,2	8,8	0,0	0,0	0,0	2,9	1,6	5,6	6,0	6,4	4,2	7,2
Zn	Vertisol	49,8	56,4	63,0	76,2	102,5	0,4	0,5	0,6	0,8	1,1	49,5	55,9	62,4	75,4	101,4
	Ferralsol	42,7	49,3	55,8	69,0	95,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	42,5	49,0	55,5	68,7	94,8
	Regosol	20,7	27,3	33,9	47,1	73,4	0,2	0,2	0,3	0,6	0,7	20,6	27,1	33,6	46,5	72,7
Cu	Vertisol	27,7	31,5	35,3	43,0	58,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	27,6	31,4	35,2	42,9	58,1
	Ferralsol	35,4	39,2	43,0	50,7	66,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	35,4	39,2	43,0	50,6	65,9
	Regosol	18,7	22,5	26,3	34,0	49,3	0,0	0,1	0,6	3,5	1,1	18,7	22,5	25,7	30,5	48,2
Ni	Vertisol	28,8	32,6	36,4	44,1	59,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	28,8	32,6	36,4	44,0	59,3
	Ferralsol	14,9	18,7	22,5	30,1	45,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	14,8	18,7	22,5	30,1	45,3
	Regosol	6,4	10,2	14,0	21,6	36,9	0,0	0,0	0,0	1,1	0,1	6,4	10,2	14,0	20,5	36,8

cemaran dakhil merongrong kesehatan orang dan ternak secara sedikit demi sedikit. Akibat gawatnya mungkin baru muncul bertahun-tahun kemudian dan biasanya sudah terlambat untuk masih dapat disembuhkan. Bahaya pencemaran dakhil oleh logam berat sangat berat karena merusak metabolisme sel.

Meskipun SKL bernilai pupuk baik, dilihat dari segi hasil panen pangan, risiko yang dibawanya atas kesehatan orang dan ternak terlalu berat. SKL dapat dianjurkan untuk memupuk pertanaman bukan-pangan dan bukan-pakan, seperti tanaman hias, tanaman pelindung tanah terhadap erosi dan tanaman industri. Untuk memupuk tanaman industri masih perlu diteliti seberapa jauh logam berat berdaya pengaruh atas mutu hasil (karet, kayu, serat dan sebagainya).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Azwar Maas dari Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian UGM atas bantuan dalam penghitungan Statistik.

Daftar Pustaka

- Bingham, F.T., A.L. Page, G.A. Mitchell, & J.E. Strong. 1979. Effects of liming an acid soil amended with sewage sludge enriched with Cd, Cu, Ni, and Zn on yield and Cd content of wheat grain. *J. Environ. Qual.* 8(2):202 - 207.
- Burau, R.G. 1982. Lead (Pb). Dalam: Black, C.A., (ed) *Methods of soil analysis*. Part II. ASA Publisher. Madison, Wisconsin: 347 - 352.
- Cooke, G.W. 1970. The control of soil fertility. The ELBS and Crosby Lockwood & Sons, London, 526 p.
- FAO-Unesco. 1985. Soil map of the world. 1:5 000 000. Revised legend third draft. *FAO World Soil Resources Report*. Rome. 115 p.
- Giordano, P.M., D.A. Mays, & A.D. Behel, Jr. 1979. Soil temperature effects on uptake of Cadmium and Zinc by vegetables grown on sludge amended soil. *J. Environ. Qual.* 8(2):233 - 236.
- Gunadi, B., M.P.M. Janssen, & E.N.G. Joesse. 1988. Perbandingan kandungan kadmium pada beberapa species Collembola dan Carabidae. *Kritis. Jurnal Univ. Kristen Satya Wacana* 3(1): 58 - 74.

belum dan

alam tanah
mat (ppm)

D3	D4
1104,5	1109,4
1103,1	1107,8
941,9	943,0
701,5	703,0
648,2	649,6
287,7	289,5
12,1	13,5
16,6	18,2
4,2	7,2
75,4	101,4
68,7	94,8
46,5	72,7
42,9	58,1
50,6	65,9
30,5	48,2
44,0	59,3
30,1	45,3
20,5	36,8

- Horne, R.A. 1978. The chemistry of our environment. John Wiley & Sons, New York. 869 p.
- Hue, N.V., J.A. Silva, & R. Arifin. 1988. Sewage sludge - soil interaction as measured by plant and soil chemical composition. *J. Environ. Qual.* 17(3):384 - 390.
- Kim, S.J., A.C. Chang, A.L. Page, & J.E. Warneke. 1988. Relative concentrations of Cadmium and Zinc in tissue of selected food plants grown on sludge-treated soils. *J. Environ. Qual.* 17(4):568-573.
- Mengel, K., & E.A. Kirkby. 1987. *Principles of plant nutrition*. Fourth Ed. Int. Potash Inst., Bern. 687 p.
- Nugrohati, S., H. Sastrohamidjojo, & S. Lebdosukoyo. 1985. *Spektroskopi Serapan Atom*. Lab. Analisa Kimia Fisik Pusat UGM, Yogyakarta. 54 h.
- Prawiwardoyo, S., A. Rosmarkam, Dj. Shiddieq, M.S. Hidayat, & M. Ma'shum. 1987. *Prosedur analisa kimia tanah*. Terbitan IV. Departemen Ilmu Tanah Fakultas Pertanian UGM, Yogyakarta. 77 p.
- Rosmarkam, A. 1982. *Analisa tanaman*. Departemen Ilmu Tanah Fakultas Pertanian UGM, Yogyakarta. 45 p.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, & J.D. Beaton. 1985. *Soil fertility and fertilizer*. Fourth Ed. Macmillan, New York. 754 p.
- Yuita, K., M. Nakashimada, A. Hidayat, S. Roechman, & I. Nasution. 1982. *Analytical methods for Cadmium (Cd) in soil and crops*. Japan - Indonesia Joint Research Project. 59 p.