



**PENGARUH PEMBERIAN LIMBAH PABRIK BIR
DAN KOTORAN SAPI TERHADAP BEBERAPA SIFAT FISIK TANAH
REGOSOL (TROPOPSAMMENT) DARI SINDANGBARANG
DAN PERTUMBUHAN SERTA SERAPAN LOGAM BERAT
TANAMAN KANGKUNG (*Diplospora reptans*)**



Oleh

YUWONO BUDI SANTOSO

A 25. 1182

C



**JURUSAN TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
1993**

RINGKASAN

Yuwono Budi Santoso. Pengaruh Pemberian Limbah Pabrik Bir dan Kotoran Sapi terhadap Beberapa Sifat Fisik Tanah Regosol (Tropopsamment) dari Sindangbarang dan Pertumbuhan serta Serapan Logam Berat Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans*) (Di bawah bimbingan **Prayoto Djojoprawiro** dan **Suwarno**).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian limbah industri (pabrik bir) dan kotoran sapi terhadap beberapa sifat fisik tanah. Selain itu juga bertujuan untuk mengetahui dosis limbah yang dapat ditambahkan ke dalam tanah yang masih dapat ditoleransi kandungan logam beratnya akibat serapan tanaman sehingga masih dapat dikonsumsi oleh manusia dan juga kemampuan kotoran sapi menetralkan pengaruh logam berat terhadap pertumbuhan tanaman.

Penelitian dilakukan di Rumah Kaca, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Analisis fisik tanah dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor dan di Laboratorium Konservasi Tanah, Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Bogor. Analisis kimia dilakukan di Laboratorium P3S Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor dan Laboratorium Sub Bagian Zat Hara, Balai Penelitian Tanaman Pangan, Cimanggu, Bogor. Penelitian dilakukan pada bulan Juli 1992 sampai Januari 1993.

Perlakuan yang dicobakan adalah limbah industri dan kotoran sapi. Dosis limbah yang digunakan adalah 0%, 2.5%, 5% dan 7.5%, sedangkan dosis kotoran sapi yang diberikan adalah 0%, 0.5% dan 1% terhadap bobot tanah Regosol 5 kg (BKM). Percobaan yang dilakukan terdiri dari 12 perlakuan dengan 6 ulangan, seluruhnya terdiri dari 72 satuan percobaan. Tiga ulangan digunakan untuk penetapan sifat fisik tanah. Tanaman indikator yang digunakan adalah kangkung darat.

Variabel tanaman yang diamati adalah tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah, bobot kering dan serapan tanaman terhadap logam berat Pb, Cd, Cr dan Cu. Sedang sifat fisik tanah yang diukur adalah bobot isi, ruang pori total dan distribusi ukuran pori.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan faktorial dalam rancangan acak lengkap dengan faktor yang dicobakan adalah limbah industri (pabrik bir) dan kotoran sapi. Pengaruh perlakuan yang diamati dilihat dengan sidik ragam. Beda antar perlakuan dilihat dengan melakukan uji beda nyata terkecil (BNT).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah berpengaruh nyata meningkatkan ruang pori total dan air tersedia, dan berpengaruh nyata menurunkan bobot isi, pori drainase sangat cepat serta tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah dan bobot kering tanaman umur 5 MST.

Kotoran sapi berpengaruh nyata meningkatkan ruang pori total, tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah dan bobot kering tanaman umur 5 MST. Selain itu kotoran sapi berpengaruh nyata menurunkan bobot isi dan pori drainase sangat cepat.

Interaksi limbah dan kotoran sapi berpengaruh nyata menurunkan bobot isi tanah pada perlakuan L2K2 dan L3K2, meningkatkan ruang pori total pada perlakuan L2K2 dan L3K2 dan meningkatkan tinggi tanaman umur 5 MST pada perlakuan L2K1 dan menurunkan tinggi tanaman umur 5 MST pada perlakuan L3K0.

Serapan tajuk tanaman terhadap logam berat timbal dan kadmium masih berada pada kisaran yang biasa terdapat pada tanaman. Kandungan kromium dan tembaga pada tajuk berada di atas nilai kisaran yang umum terdapat pada tanaman.

Untuk keseluruhan, interaksi perlakuan limbah dengan dosis 2.5 % dengan dosis kotoran sapi 1 % (L1K2) masih memungkinkan untuk digunakan, karena menghasilkan produksi yang relatif masih tinggi.

**PENGARUH LIMBAH PABRIK BIR
DAN KOTORAN SAPI TERHADAP BEBERAPA SIFAT FISIK TANAH
REGOSOL (TROPOPSAMMENT) DARI SINDANGBARANG
DAN PERTUMBUHAN SERTA SERAPAN LOGAM BERAT
TANAMAN KANGKUNG (*Ipomoea reptans*)**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Pertanian pada Fakultas Pertanian
Institut Pertanian Bogor**

**Oleh
YUWONO BUDI SANTOSO
A25.1182**

**JURUSAN TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
1993**

Judul Penelitian : PENGARUH PEMBERIAN LIMBAH PABRIK BIR DAN KOTORAN SAPI TERHADAP BEBERAPA SIFAT FISIK TANAH REGOSOL (TROPOPSAMMENT) DARI SINDANG-BARANG DAN PERTUMBUHAN SERTA SERAPAN LOGAM BERAT TANAMAN KANGKUNG (*Ipomoea reptans*).

Nama : YUWONO BUDI SANTOSO

Nomor Pokok : A25.1182

Menyetujui

Pembimbing I

Ir. Prayoto Djojoprawiro, MS.

NIP 130 779 510

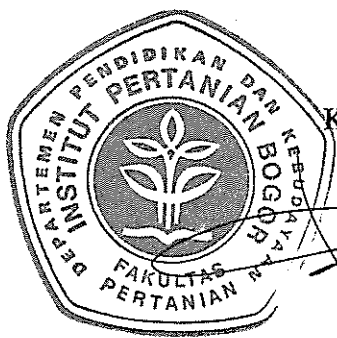
Pembimbing II

Ir. Suwarno, MSc.

NIP 131 803 642

Mengetahui

Ketua Jurusan Tanah



Prof. Dr. Ir. Oetit Koswara

NIP 130 429 228

Tanggal Lulus : 21 Agustus 1993

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Militer, Magelang pada tanggal 17 Desember 1969, sebagai anak ketujuh dari tujuh bersaudara dari Ayahanda Soenarko dan Ibunda Suwarni.

Pendidikan formal penulis dimulai pada tahun 1974, yaitu di Taman Kanak-kanak Ade Irma Suryani Magelang, kemudian menyelesaikan di Taman Kanak-kanak Persit Kartika Chandra Kirana di Tanjungkarang pada tahun 1975. 'Selanjutnya pada tahun 1982 penulis menamatkan sekolah dasar di SD Persit Kartika Chandra Kirana Tanjungkarang dan pada tahun yang sama melanjutkan ke SMP Persit Kartika Chandra Kirana Tanjungkarang serta menamatkannya pada tahun 1985. Pendidikan SMA diselesaikan pada tahun 1988 di SMAN 5 Tanjungkarang.

Pada tahun 1988 penulis diterima menjadi mahasiswa Tingkat Persiapan Bersama Institut Pertanian Bogor melalui jalur Sipenmaru. Tahun berikutnya, tahun 1989 penulis berhasil diterima menjadi mahasiswa Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Sewaktu menjadi mahasiswa Jurusan Tanah, penulis berperan aktif sebagai asisten pada Mata Kuliah Dasar-dasar Interpretasi Foto Udara (tahun ajaran 1991/1992 dan 1992/1993), Geomorfologi dan Analisis Landscape (1991/1992) dan Dasar-dasar Ilmu Tanah (1992/1993). Disamping itu penulis juga aktif di kepengurusan Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah (HMIT). Di HMIT, penulis terutama aktif di Majalah Keprofesian "HUMUS" dan pernah menjabat sebagai pemimpin umum HUMUS pada periode kepengurusan 1991/1992.

Pada tahun 1992, penulis terpilih sebagai salah satu wakil mahasiswa Jurusan Tanah pada pemilihan mahasiswa berprestasi tingkat Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor dan sewaktu menjadi mahasiswa penulis juga pernah mengikuti survai tanah pada Proyek RTSP Tahap IIIA di Daerah Jambo Aye, Aceh Timur.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya, maka penulis dapat menyusun dan menyelesaikan karya tulis ini.

Skripsi dengan judul "Pengaruh Pemberian Limbah Pabrik Bir dan Kotoran Sapi terhadap Beberapa Sifat Fisik Tanah Regosol (Tropopsamment) dari Sindang-barang serta Serapan Logam Berat Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans*)", merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana pertanian pada Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Pada kesempatan ini penulis menghaturkan terima kasih yang tak terhingga kepada Bapak Ir. Prayoto Djojoprawiro, MS. dan Ir. Suwarno, MSc. selaku pembimbing masalah khusus yang telah banyak membantu dan memberi petunjuk kepada penulis sewaktu melakukan penelitian dan juga dalam penyelesaian skripsi ini. Tidak lupa, ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Ibu Ir. Kri-santini, MSc. dan Bapak Ir. Abdul Rachim, MS. yang telah banyak memberikan saran dan bantuan selama penulis melaksanakan penelitian.

Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih, kepada:

1. Popi, Mbah, Bejo, Zaenal, Totok, Catur, Roy dan Imam atas kerjasama dan segala bantuannya pada saat penulis mempersiapkan hingga melaksanakan penelitian sampai penyusunan skripsi ini serta warga SanDal 24 yang telah banyak memberikan dukungan moril kepada penulis.
2. Ibu Ratna dan Mbak Tini (staf Perpustakaan Jurusan Tanah) dan Pak Romli (pegawai rumah kaca Jurusan Tanah IPB), yang banyak memberikan bantuan kepada penulis.
3. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu penulis, baik moril maupun materil.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ini masih jauh dari sempurna, oleh karenanya saran dan kritik yang bersifat membangun sangat penulis harapkan agar di lain kesempatan penulis dapat membuat karya tulis yang lebih baik lagi. Akhir kata, penulis berharap mudah-mudahan karya tulis yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak dan siapa saja yang memerlukannya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bogor, September 1993

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
PENDAHULUAN.....	1
Latar Belakang	1
Tujuan Penelitian.....	2
TINJAUAN PUSTAKA	4
Sifat Umum Tanah Regosol	4
Sifat Fisik Tanah	5
Bobot Isi.....	6
Porositas Tanah	7
Distribusi Ukuran Pori	8
Air Tersedia.....	9
Limbah	9
Penggunaan Sampah Organik untuk Produksi Pertanian	10
Sifat-sifat Logam Berat	11
Mobilitas Logam Berat.....	12
Timbal (Pb).....	13
Sumber	13
Karakteristik Timbal.....	14
Kadmium (Cd)	15
Sumber	15
Karakteristik Kadmium.....	16
Kromium (Cr)	17
Sumber	17
Karakteristik Kromium	18

Halaman ini merupakan bagian dari dokumen yang telah direvisi dan diperbaiki untuk memastikan kualitas dan keakuratan informasi yang disajikan. Untuk lebih jelasnya, silakan kunjungi website resmi IPB University.

	Halaman
Tembaga (Cu)	19
Sumber	19
Karakteristik Tembaga.....	20
Bahan Organik.....	21
Kangkung	23
Manfaat Kangkung.....	24
BAHAN DAN METODE.....	25
Tempat dan Waktu	25
Bahan dan Alat	25
Rancangan Percobaan	25
Metode Penelitian.....	26
Pelaksanaan Percobaan Rumah Kaca.....	27
HASIL DAN PEMBAHASAN	29
Sifat Fisik Tanah	29
Bobot Isi dan Porositas Total	29
Distribusi Ukuran Pori	34
Air Tersedia.....	41
Pertumbuhan dan Produksi	45
Serapan Logam Berat.....	55
KESIMPULAN DAN SARAN	60
Kesimpulan	60
Saran..	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN..	65

DAFTAR TABEL

Nomor	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Bobot Isi.....	30
2.	Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Ruang Pori Total Tanah	30
3.	Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Pori Drainase Sangat Cepat.....	34
4.	Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Pori Drainase Cepat	37
5.	Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Pori Drainase Lambat	39
6.	Kriteria Pori Drainase Cepat atau Pori Drainase Lambat menurut Stallings (1959) <i>dalam</i> Soeparto (1982)	41
7.	Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Air Tersedia.....	42
8.	Kriteria Air Tersedia Menurut Stallings (1959) <i>dalam</i> Soeparto (1982)	44
9.	Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Tinggi Tanaman Umur 5 MST	45
10.	Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Jumlah Daun Umur 5 MST	49
11.	Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Bobot Basah Tanaman Umur 5 MST	51
12.	Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Bobot Kering Tanaman Setelah Panen	53
13.	Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Serapan Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr) dan Tembaga (Cu) pada Tajuk Tanaman	56
14.	Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Serapan Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr) dan Tembaga (Cu) pada Akar Tanaman.....	57

Hal. Cipta: Pengaruh Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Bobot Isi, Ruang Pori Total Tanah, Pori Drainase Sangat Cepat, Pori Drainase Cepat, Pori Drainase Lambat, Kriteria Pori Drainase Cepat atau Pori Drainase Lambat menurut Stallings (1959) dalam Soeparto (1982), Kriteria Air Tersedia Menurut Stallings (1959) dalam Soeparto (1982), Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Tinggi Tanaman Umur 5 MST, Jumlah Daun Umur 5 MST, Bobot Basah Tanaman Umur 5 MST, Bobot Kering Tanaman Setelah Panen, Serapan Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr) dan Tembaga (Cu) pada Tajuk Tanaman, Serapan Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr) dan Tembaga (Cu) pada Akar Tanaman.

15.	Serapan Logam Berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada Tajuk dan Akar Tanaman	59
16.	Konsentrasi Logam-logam Berat ($\mu\text{g/g}$ berat kering) dalam Litosfer (Goldschmidt, 1958), Tanah (Bowen, 1966) dan Tanaman (Allaway, 1968) <i>dalam</i> Greenland dan Hayes (1981).....	59

Lampiran

1.	Hasil Analisis Pendahuluan Kimia Tanah Regosol	66
2.	Hasil Analisis Pendahuluan Sifat Fisik Tanah Regosol	67
3.	Hasil Analisis Pendahuluan Limbah.....	68
4.	Hasil Analisis Pendahuluan Kotoran Sapi	68
5.	Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Bobot Isi.....	69
6.	Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Ruang Pori Total	69
7.	Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Pori Drainase Sangat Cepat.....	69
8.	Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Pori Drainase Cepat	70
9.	Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Pori Drainase Lambat	70
10.	Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Air Tersedia.....	70
11.	Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Tinggi Tanaman Saat Panen (5 MST).....	71
12.	Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Jumlah Daun Saat Panen (5 MST).....	71
13.	Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Bobot Basah Saat Panen (5 MST)	71
14.	Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Bobot Kering Setelah Panen (5 MST).....	72

Nomor		Halaman
15.	Hasil Penetapan Bobot Isi, Ruang Pori Total, pF 1, pF2, pF 2.54, pF 4.2, Pori Drainase Sangat Cepat (PDSC), Pori Drainase Cepat (PDC), Pori Drainase Lambat (PDL) dan Air Tersedia (AT)	74
16.	Tinggi Tanaman Umur Dua Minggu Setelah Tanam (2 MST).....	77
17.	Tinggi Tanaman Umur Tiga Minggu Setelah Tanam (3 MST)	77
18.	Tinggi Tanaman Umur Empat Minggu Setelah Tanam (4 MST)	78
19.	Tinggi Tanaman Umur Lima Minggu Setelah Tanam (5 MST)	78
20.	Jumlah Daun Tanaman Umur Dua Minggu Setelah Tanam (2 MST).....	79
21.	Jumlah Daun Tanaman Umur Tiga Minggu Setelah Tanam (3 MST).....	79
22.	Jumlah Daun Tanaman Umur Empat Minggu Setelah Tanam (4 MST).....	80
23.	Jumlah Daun Tanaman Umur Lima Minggu Setelah Tanam (5 MST).....	80
24.	Bobot Basah Tanaman Saat Panen (5 MST).....	81
25.	Bobot Kering Tanaman Setelah Panen (5 MST)	81

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Hubungan antara Dosis Limbah dengan Nilai Bobot Isi Tanah.....	32
2.	Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Nilai Bobot Isi Tanah.....	32
3.	Hubungan antara Dosis Limbah dengan Nilai Ruang Pori Total Tanah.....	33
4.	Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Nilai Ruang Pori Total Tanah.....	33
5.	Hubungan antara Dosis Limbah dengan Nilai Pori Drainase Sangat Cepat.....	35
6.	Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Nilai Pori Drainase Sangat Cepat.....	36
7.	Hubungan antara Dosis Limbah dengan Nilai Pori Drainase Cepat.....	38
8.	Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Nilai Pori Drainase Cepat.....	38
9.	Hubungan antara Dosis Limbah dengan Nilai Pori Drainase Lambat.....	40
10.	Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Nilai Pori Drainase Lambat.....	40
11.	Hubungan antara Dosis Limbah dengan Nilai Air Tersedia.....	43
12.	Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Nilai Air Tersedia	43
13.	Hubungan antara Dosis Limbah dengan Tinggi Tanaman Umur 5 MST.....	47

Nomor

Halaman

14.	Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Tinggi Tanaman Umur 5 MST	47
15.	Hubungan antara Dosis Limbah dengan Jumlah Daun Umur 5 MST.....	50
16.	Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Jumlah Daun Umur 5 MST	50
17.	Hubungan antara Dosis Limbah dengan Bobot Basah Tanaman Umur 5 MST	52
18.	Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Bobot Basah Tanaman Umur 5 MST.....	53
19.	Hubungan antara Dosis Limbah dengan Bobot Kering Tanaman Setelah Panen	54
20.	Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Bobot Kering Tanaman Setelah Panen	55

Lampiran

1.	Bobot Kering, Bobot Basah, Jumlah Daun dan Tinggi Tanaman Umur 5 MST	73
----	--	----

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Untuk meningkatkan taraf hidup bangsa Indonesia pemerintah giat melakukan pembangunan perekonomian. Pengaruh pembangunan perekonomian di Indonesia diantaranya adalah semakin meningkatnya jumlah industri-industri dengan laju yang cukup pesat. Di satu sisi industri menghasilkan produk yang bernilai ekonomi, tetapi di sisi yang lain industri menghasilkan limbah atau sampah industri yang umumnya menimbulkan masalah-masalah lingkungan yang cukup rumit.

Limbah industri umumnya mengandung zat-zat organik dan anorganik beracun yang membahayakan makhluk hidup terutama manusia, sebagai komponen terakhir dari rantai makanan. Zat-zat anorganik dari limbah industri yang berbahaya bagi kehidupan manusia adalah logam berat yang merupakan bahaya potensial, karena logam berat yang dikandung limbah industri bersifat sukar terdegradasi dan dapat memasuki rantai makanan. Akibatnya logam berat limbah industri akan terakumulasi pada jaringan tubuh dan dapat menimbulkan keracunan bagi manusia, hewan dan tumbuhan (Buckman dan Brady, 1974). Menurut Bolt dan Bruggenwert (1981) besarnya industri yang beraneka ragam merupakan penyebab utama polusi udara oleh logam berat dan berakibat kepada polusi tanah saat unsur-unsur logam berat tersebut mencapai permukaan tanah. Masuknya zat-zat organik dan anorganik beracun tersebut dapat menurunkan mutu lingkungan, baik lingkungan perairan, darat, dan udara. Mutu lingkungan menjadi menurun bila parameter tertentu akibat pembuangan limbah melampaui ambang yang telah ditentukan.

Logam berat yang bersifat toksik pada konsentrasi tertentu (relatif tinggi), yang umumnya sering digunakan atau dilepaskan oleh industri-industri adalah Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn dan Zn. Unsur-unsur tersebut

merupakan bahaya potensial bagi komponen-komponen yang terlibat dalam rantai makanan.

Umumnya limbah industri dibuang ke perairan atau sungai, sehingga dengan banyaknya jumlah pabrik yang ada dapat membahayakan ekosistem perairan dan terutama manusia karena air sungai masih banyak digunakan untuk keperluan sehari-hari, walaupun tingkat pencemarannya sudah mencapai nilai yang membahayakan.

Dengan penerapan sanksi kepada pabrik-pabrik yang dinilai mencemari lingkungan, dampak negatif industri-industri dapat sedikit dikurangi. Tetapi ancaman pencemaran masih belum hilang sama sekali. Salah satu alternatif pemecahannya adalah dengan sistem pembuangan limbah ke tanah. Cara ini relatif mudah dan tidak memerlukan biaya besar, sehingga sangat menguntungkan pihak pembuang limbah. Sedangkan alat pengolah limbah memerlukan investasi yang relatif besar sehingga jarang digunakan.

Tanah sebagai tempat pembuangan limbah mempunyai keuntungan-keuntungan, karena tanah mempunyai sifat-sifat yang mampu menyerap dan merombak limbah menjadi bentuk-bentuk yang tidak berbahaya. Disisi lain sampah atau limbah organik mempunyai potensi untuk memperbaiki sifat-sifat kimia, fisik, dan biologi tanah, sehingga dalam batas tertentu dapat memperbaiki produktivitas tanah. Tetapi pembuangan limbah ke tanah juga harus memperhatikan kemampuan tanah, karena tanah mempunyai kapasitas tertentu yang relatif terbatas untuk menampung dan menetralkan sifat buruk dari limbah.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian limbah industri dan kotoran sapi terhadap beberapa sifat fisik tanah. Selain itu juga

bertujuan untuk mengetahui dosis limbah yang dapat ditambahkan ke dalam tanah yang masih dapat ditoleransi kandungan logam beratnya akibat serapan tanaman sehingga masih dapat dikonsumsi oleh manusia dan juga kemampuan kotoran sapi menetralkan pengaruh logam berat terhadap pertumbuhan tanaman.



TINJAUAN PUSTAKA

Sifat Umum Tanah Regosol

Regosol (Tropopsamments) ditemukan di daerah dengan iklim yang beragam. Bahan induknya adalah abu vulkan, mergel dan pasir pantai. Tanah ini berada pada topografi bergelombang, berombak, bergunung, melandai dan terletak pada berbagai ketinggian serta dengan vegetasi yang beragam (Soepardi, 1983).

Menurut Soepraptohardjo (1975), Regosol merupakan tanah tanpa debu, sedikit mempunyai perkembangan profil, bersolum dangkal hingga dalam, berwarna kelabu atau coklat kekuningan. Tanah ini bertekstur pasir, struktur gembur sampai berbutir tunggal, kadang-kadang berlapis, berkerikil atau berpadas. Beberapa sifat yang lain adalah mempunyai kejenuhan basa beragam dengan daya jerap rendah. Tingkat permeabilitas tanah agak cepat dan peka terhadap erosi. Kandungan P dan K cukup, sedangkan N kurang. Kesuburannya berkisar dari subur sampai miskin. Kesuburan yang baik dijumpai pada tanah berbahan induk vulkanik yang sedikit mengalami pelapukan lanjut dengan profil tanpa padas. Kesuburan yang rendah dijumpai pada tanah yang berasal dari daerah pertambangan sampai daerah Regosol-Podsol.

Menurut Soepraptohardjo (1975), faktor pembentuk tanah Regosol adalah iklim beragam, bahan induk abu vulkan, mergel; topografi bergelombang, berombak, bergunung dan landai; vegetasi beraneka dan proses pembentukan tanahnya tanpa atau dengan alterasi lemah. Regosol mempunyai solum tipis sampai tebal; warna kelabu hingga kuning; tekstur pasir (kadar liat kurang dari 40%); tanpa struktur; konsistensi gembur; kemasaman beragam; kadar bahan organik rendah; daya jerap kation rendah; kejenuhan basa beragam; kandungan unsur hara beragam dan permeabilitas tinggi.

Regosol mempunyai perkembangan profil lemah, kadar fraksi liat rendah sampai sangat rendah dan fraksi pasir tinggi sampai sangat tinggi. Bahan induknya pasir vulkan atau pasir pantai (Atmosentono, 1968). Buringh (1970) mengemukakan bahwa Regosol merupakan tanah muda, kebanyakan tanpa perkembangan profil tanah dan banyak mengandung bahan lepas. Sedangkan Dudal dan Soepraptohardjo (1957) menyatakan bahwa Regosol merupakan bahan lepas dengan bahan induk abu marl dan bukit pasir.

Atmosentono (1968) melanjutkan bahwa Regosol berwarna coklat kekelabuan sampai coklat, kadang teksturnya berkerikil atau berbatu. Konsistensi tanah jenis ini gembur sampai lepas dan permeabilitasnya serta drainasenya cepat. Menurut Soepraptohardjo (1975) cepatnya permeabilitas dan drainase Regosol disebabkan porositas yang sedang sampai terlalu baik.

Menurut Hardjowigeno (1982), Regosol Sindangbarang mempunyai tekstur lempung liat berpasir, konsistensi plastis dan agak lekat, dalam keadaan basah berkonsistensi gembur dan dalam keadaan kering berkonsistensi lemah.

Sifat Fisik Tanah

Sifat-sifat fisik tanah sangat penting karena menentukan kesesuaian penggunaan lahan. Kemampuan tanah dalam menyimpan air, menahan unsur hara, menyediakan aerasi yang baik dan kemudahan penetrasi akar tanaman ke dalam tanah merupakan keadaan yang sangat berhubungan dengan sifat-sifat fisik tanah (Millar, Turk, dan Foth 1958). Peranan sifat fisik tanah ini menjadi berperan banyak karena sifat tersebut lebih sulit diperbaiki dari pada sifat kimia tanahnya (Ochse *et al.*, 1961).

Sifat-sifat fisik tanah yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman adalah kadar air, suhu, sifat mekanik tanah dan aerasi tanah (Hillel, 1972). Stalling (1959) menambahkan bahwa tanah yang produktif, selain harus mampu

menyediakan unsur hara bagi tanaman juga harus mampu menyediakan suatu lingkungan yang baik bagi perkembangan akar tanaman. Faktor lingkungan adalah persediaan air tanah, suhu, aerasi dan struktur tanah yang kesemuanya sangat ditentukan sifat-sifat fisika tanah.

Bobot Isi

Bobot isi atau *bulk density* adalah bobot kering suatu unit volume tanah dalam keadaan utuh, dinyatakan dalam satuan gram per centimeter kubik. Unit volume ini terdiri dari volume yang terisi bahan padat dan volume ruangan antara partikel-partikelnya (Soepardi, 1983).

Faktor-faktor yang mempengaruhi bobot isi adalah tekstur tanah, kedalaman, sifat vegetasi yang mendukung dan penginjakan (*trampling*) (Hamzah, 1975). Lebih lanjut dikatakan, bahwa bobot isi tanah dapat mencerminkan sifat tanah lainnya seperti struktur, permeabilitas, porositas, dan kapasitas infiltrasi. Bobot isi tanah yang bertekstur halus berkisar dari 1.0 - 1.3 g/cm³, sedangkan tanah yang bertekstur kasar 1.3 - 1.8 g/cm³. Semakin berkembang struktur lapisan olah tanah bobot isinya semakin rendah biarpun teksturnya sama. Pemadatan meningkatkan bobot isi karena pengurangan ruang antara partikel tanah dan menurunkan ruang pori (Israelsen dan Hansen, 1962; Buckman dan Brady, 1972).

Selain sebagai indeks kepadatan tanah, bobot isi dapat digunakan untuk menghitung jumlah dan distribusi ukuran pori dan selanjutnya dapat menduga jumlah kebutuhan air atau pupuk yang harus ditambahkan (Baver, 1961).

Bobot isi tanah bervariasi dari waktu ke waktu dan dari lapisan ke lapisan (Foth, 1978). Keragaman ini menurut Thompson dan Troeh (1975), mencerminkan derajat kepadatan tanah. Tanah yang ruang porinya berkurang dan bobot tanah tiap satuan bertambah menyebabkan bobot isi tanah juga bertambah.

Bobot isi pada lapisan permukaan berkisar dari 1.0 - 1.6 g/cm³ tergantung dari kondisinya. Tanah yang diolah dengan baik dapat mempunyai bobot isi lebih

kecil dari 1.0 g/cm^3 , pengolahan tanah pada alur-alur yang akan ditanami dapat menurunkan bobot isi dari 1.5 g/cm^3 sampai 0.8 g/cm^3 (Donahue, Follett dan Tulloch, 1976).

Bobot isi tanah sangat berkorelasi dengan porositas tanah dan ketahanan penetrasi. Bobot isi berbanding lurus dengan penetrasi. Semakin rendah bobot isi tanah, semakin rendah ketahanannya terhadap penetrasi. Tanah yang mempunyai penetrasi terlalu tinggi mengakibatkan sistem perakaran akan relatif sulit melakukan penetrasi ke dalam tanah, demikian pula udara dan air tanah (Rachman, 1987; Vepraskas dan Waggoner, 1990).

Apabila suatu tanah sudah cukup gembur dengan bobot isi tidak lebih dari 1.2 g/cm^3 , maka budidaya tanaman tanpa olah tanah tidak menimbulkan masalah serius ditinjau dari sifat fisiknya. Tetapi bila kondisi tanah padat dengan bobot isi lebih besar 1.35 g/cm^3 maka budidaya tanaman pangan dan hortikultur memerlukan pengolahan, jika tidak pertumbuhan tanaman akan terhambat oleh masalah yang berhubungan dengan sifat-sifat fisik tanah (Rachman, 1987).

Porositas Tanah

Porositas tanah dapat didefinisikan sebagai persentase volume tanah yang tidak ditempati partikel padat tanah akan tetapi diisi oleh air dan udara (Thorne dan Thorne, 1979).

Porositas tanah sangat dipengaruhi bobot isi tanah, bila bobot isi tanah berubah berarti partikel-partikel tanah didekatkan atau dijauhkan satu sama lain. Porositas tidak sama pada semua tanah, bahkan dalam horizon-horizon tanah yang sama. Menurut Hillel (1980) porositas tanah berkisar dari 30 - 60% dengan rata-rata 50% (Baver, Gardner dan Gardner, 1978).

Beberapa faktor lain yang mempengaruhi jumlah ruang pori yaitu (a) cara dan susunan butir, (b) tekstur, (c) kandungan bahan organik dan (d) cara pengolahan tanah. Bila zarah berhimpitan seperti halnya pada lapisan padat atau pasir pori

totalnya sedikit, tetapi bila zarah tersusun sarang seperti tanah bertekstur sedang maka pada tiap satuan isi akan dijumpai banyak ruang pori (Soepardi, 1983).

Menurut Buckman dan Brady (1972) pori tanah digolongkan ke dalam pori mikro dan pori makro. Pori makro yaitu pori yang menstimulasi pergerakan udara dan perkolasi air secara cepat, sedangkan pori mikro adalah pori yang menghambat pergerakan udara dan air menjadi pergerakan kapiler.

Distribusi Ukuran Pori

Penilaian sistem pori secara relatif dilakukan dengan perhitungan porositas total dan distribusi ukuran pori. Porositas dihitung berdasarkan penetapan bobot isi dan bobot jenis partikel tanah. Sedangkan distribusi ukuran pori didasarkan pada kurva pF (Hillel, 1972).

Sitorus, Haridjaja dan Brata (1986) menyatakan bahwa menurut ukurannya ruang pori total dapat dikelompokkan ke dalam ruang pori yang dapat menghambat pergerakan air menjadi pergerakan kapiler dan ruang pori non kapiler yang dapat memberi kesempatan pergerakan udara dan perkolasi air secara cepat sehingga sering disebut sebagai pori drainase. Pori drainase dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok, yaitu: (1) pori drainase sangat cepat; berdiameter lebih dari 300 μ , (2) pori drainase cepat; berdiameter antara 300 - 30 μ , (3) pori drainase lambat; berdiameter antara 30 - 9 μ .

Suwardjo (1981), menyatakan bahwa ukuran dan penyebaran pori-pori dalam tanah disamping mempengaruhi aliran permukaan dan erosi juga sangat menentukan tingkat kesuburan fisik suatu tanah. Susunan dari ukuran pori menentukan tingkat aerasi dan kemampuan menahan/menyediakan air.

Tanah-tanah berpasir umumnya mempunyai pori total yang lebih rendah daripada tanah berliat, tetapi pori makronya lebih tinggi sehingga tanah berpasir umumnya beraerasi baik (Soepardi, 1983).

Air Tersedia

Air tersedia merupakan air yang tersedia bagi tanaman, yang merupakan selisih antara kapasitas lapang dan titik layu permanen (Townsend, 1973). Kapasitas lapang adalah jumlah air yang terdapat dalam tanah setelah air gravitasi selesai (Buckman dan Brady, 1972). Titik layu permanen merupakan kandungan air dimana tanaman tidak mampu menyerap air yang dibutuhkan untuk mempertahankan hidup lebih lama (Townsend, 1973).

Menurut Hakim *et al.* (1986), jumlah air yang dapat diabsorbsikan tanaman dari tanah selain dipengaruhi oleh sifat tanah juga dipengaruhi faktor tumbuhan dan iklim. Faktor tumbuhan yang berpengaruh terhadap air tersedia antara lain adalah bentuk perakaran, daya tahan terhadap kekeringan dan stadia pertumbuhan. Sifat tanah yang berpengaruh antara lain adalah kapasitas tanah memegang air, kedalaman dan pelapisan tanah, sedangkan faktor iklim antara lain adalah temperatur, kelembaban dan kecepatan angin. Kapasitas tanah memegang air berhubungan dengan luas permukaan dan volume ruang pori, tanah yang bertekstur halus mempunyai kapasitas memegang air yang tertinggi, tetapi air tersedia maksimum terdapat pada tekstur sedang.

Air tersedia disimpan dalam pori tanah yang berukuran 0.2 sampai 9 μ atau sesuai dengan tarikan 0.3 sampai 15 atm (Kohnke, 1968 dalam Suwardjo, 1981). Tetapi banyak pakar yang mengatakan bahwa air tersedia terletak di antara 0.1 sampai 15 atm atau pF 2 hingga pF 4.2 (Israelsen dan Hansen, 1962). Pori ini setara dengan ukuran pori 0.2 hingga 30 μ .

Limbah

Mahida (1986) mengelompokkan limbah industri berdasar sifat unsur pokok pencemar, yaitu sampah organik yang dapat memuai, sampah kimiawi, sampah-sampah beracun dan sampah-sampah radioaktif. Sampah industri mungkin hanya

mencemari dari segi estetika. Sampah-sampah yang berasal dari pembuangan bahan-bahan organik menyebabkan pencemaran udara dan bau yang mungkin tidak dapat dimusnahkan oleh perairan. Zat-zat kimia dan logam-logam beracun seperti krom dan tembaga menghambat aktivitas biologis dalam perairan yang menyebabkan perairan tidak dapat digunakan lebih lanjut. Pembuangan sampah yang berkadar alkali kuat dan masam akan membuat perairan menjadi korosif terhadap bangunan-bangunan yang ada.

Penggunaan Sampah Organik untuk Produksi Pertanian

Sampah organik sudah lama digunakan untuk memperbaiki produksi tanaman. Pupuk kandang dan usaha pertanian selalu kait-mengait sejak dahulu. Akhir-akhir ini sampah kota mulai dipakai dalam usaha pertanian komersial. Bahan-bahan seperti sampah kertas mempunyai potensi dapat memperbaiki tanah di kemudian hari.

Bahan organik dapat meningkatkan sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Tisdale dan Nelson (1975) mengemukakan pengaruh bahan organik pada sifat-sifat tanah dan pertumbuhan tanaman antara lain melalui fungsinya sebagai granulator, yaitu memperbaiki struktur tanah, sumber unsur hara N, P, S dan unsur mikro, menambah kemampuan tanah untuk menahan unsur hara (kapasitas tukar kation tanah menjadi tinggi) dan menjadi sumber energi bagi mikroorganisme tanah.

Kerugian utama dari pemakaian sampah organik dalam bidang pertanian adalah karena tidak ekonomis. Sampah ini bervolume besar dan dibandingkan dengan pupuk buatan berkadar unsur hara rendah, serta tidak adanya jaminan atau kepastian mengenai susunan kimianya. Dalam hal tertentu sampah berkarbon memerlukan tambahan nitrogen agar proses hancuran bisa berjalan yang akhirnya menambah ongkos saja. Kerugian lain dari pemakaian sampah organik adalah

kadar logam berat dan senyawa racun anorganik yang beragam. Karena kotoran itu dihasilkan dalam keadaan anaerobik, bentuk reduksi dari unsur-unsur itu sering dijumpai seperti metil air raksa yang berpotensi mencemarkan yang tinggi. Mempertahankan pH tinggi merupakan syarat agar kemungkinan keracunan logam berat dihindari (Soepardi, 1983).

Sifat-sifat Logam Berat

Menurut Bolt dan Bruggenwert (1981), logam berat adalah logam yang kebanyakan mempunyai berat jenis yang tinggi, memiliki grup sebagai unsur transisi pada tabel periodik. Beberapa diantaranya disebut sebagai unsur mikro pada pertanian, karena jumlahnya relatif sedikit di dalam tanah dan penting bagi pertumbuhan tanaman.

Stevenson (1982), berpendapat bahwa dengan berpedoman pada pembentukan kompleks dan hara-hara tanaman, logam-logam dapat ditempatkan pada grup:

1. Yang dibutuhkan/esensial bagi tanaman, tetapi tidak diikat dalam ikatan koordinat. Termasuk kedalamnya adalah kation-kation monovalen, seperti Na^+ dan K^+ dan kation-kation divalen Ca^{2+} dan Mg^{2+} .
2. Logam-logam yang esensial untuk tanaman dan membentuk ikatan koordinat dengan logam-logam organik. Termasuk diantaranya adalah logam-logam dalam seri transisi, seperti Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} dan Co^{2+} , juga Mo^{2+} (dari seri transisi kedua).
3. Logam-logam yang tidak diketahui fungsinya di dalam tanaman, tetapi dapat berakumulasi dengan lingkungannya. Termasuk ke dalam grup ini adalah Cd^{2-} , Pb^{2-} , Hg^{2-} , Cr, Uranium dan Vanadium.

Penyebab utama sehingga logam berat tidak dapat dihancurkan oleh organisme hidup di lingkungan dan diakumulasi dalam komponen-komponen lingkungan, terutama pada dasar sedimen sungai dan danau, karena membentuk kompleks

bersama bahan organik dan anorganik secara absorpsi dan kombinasi (Anonymous, 1981).

Soepardi (1983) menyatakan bahwa beberapa jenis logam berat sangat dipengaruhi oleh pH, kadar bahan organik dan keadaan oksidasi-reduksi tanah. Pada pH 6.5 atau lebih logam berat berada dalam bentuk bervalensi tinggi atau bentuk teroksidasi. Selain itu, dengan adanya bahan organik, kation dari logam berat cenderung membentuk kelat.

Pengaruh pengkelatan terhadap mobilitas logam berat menurut Tan (1982), adalah terbentuknya ligan-ligan kelat. Kation mungkin berubah menjadi anion. Anion-anion akan ditolak oleh muatan-muatan negatif koloid, sebab itu logam-logam tersebut akan tetap mobil di dalam tanah. Gugus-gugus fungsional bahan organik yang dapat membentuk kompleks dengan logam antara lain COOH, fenolik, alkoholik, enolik-OH dan karbonil ($=C=O$).

Sejumlah logam berat yang paling toksik seperti Hg, Pb, Cd dan Cu dapat berkombinasi dengan membran sel dan dapat ikut campur dalam transpor zat-zat kimia keluar masuk sel. Aktivitas yang sangat tinggi kebanyakan adalah terhadap belerang. Jembatan disulfida penting dalam memberi bentuk terhadap protein. Logam berat dapat berikatan dan merubah ikatan disulfida. Proses-proses kimia merupakan bahaya utama adanya pencemaran logam berat dan jika suatu organisme proteinnya berubah, maka organisme tersebut dapat cepat mati (Anonymous, 1979).

Mobilitas Logam Berat

Mobilitas logam berat dalam tanah tergantung kepada faktor-faktor (1) macam atau tipe tanah, (2) jenis ikatan logam berat dan konsentrasinya, (3) kandungan senyawa organik, (4) kandungan liat, (5) kandungan $CaCO_3$, (6) pH, (7) kondisi air, termasuk curah hujan dan potensial oksidasi-reduksi (Suratno, 1984).

Kation logam berat akan paling mudah larut dan mudah tersedia dalam keadaan tanah masam, sehingga merupakan racun bagi tanaman.

Greenland dan Hayes (1981) menyatakan bahwa senyawa organik yang mengandung logam berat diambil tanaman lebih lambat dibandingkan dengan logam-logam ionik. Laju absorpsi logam berat juga dapat berkurang dengan adanya ion Ca dan fosfor dalam jumlah yang tinggi, atau oleh adanya persaingan dengan ion lainnya.

Timbal

Sumber

Kandungan timbal pada beberapa batuan dalam kerak bumi yaitu pada batuan eruptif masam sekitar 20 ppm. Kandungan yang kira-kira sama terdapat pada batuan intermedier, batuan metamorfosa dan batuan sedimen tertentu yaitu antara 15 - 20 ppm. Kandungan rata-rata dalam *limestone* dan *sandstone* adalah 7 - 10 ppm (Aubert dan Pinta, 1977).

Kandungan logam berat timbal (Pb) dalam batuan beku basalt 2 - 18 ppm, batuan beku granit 6 - 30 ppm, lempung dan liat 16 - 50 ppm, batu pasir < 31 ppm (Cannon *et al.*, 1978 dalam Thornton, 1981). Rata-rata kandungan normal timbal di dalam tanah yang tidak tercemar adalah 10 - 150 ppm, sedangkan kandungannya di dalam tanah-tanah yang kaya akan logam adalah 1 % atau lebih (Thornton, 1981).

Bowen (1966) dalam Soepardi, (1983) menyatakan bahwa timbal sebagai sumber pencemaran dapat berasal dari pembakaran bensin bertimah, peleburan logam, pupuk dan pestisida.

Karakteristik Timbal

Timbal memasuki tanah mengikuti pengikatan yang terjadi dari dalam tanah lapisan permukaan. Keadaan ini memungkinkan unsur Pb tersedia bagi tanaman (Legerweff, 1972 *dalam* Mortvedt, Giardano, dan Lindsay. 1972).

Timbal terakumulasi pada permukaan tanah sebagai akibat siklus biologi melalui tanaman. Hanya sebagian kecil timbal berada dalam keadaan tersedia bagi tanaman, dan dari jumlah tersebut yang ditranslokasikan ke tajuk juga sedikit (Jones dan Clemet, 1972 *dalam* Thornton, 1981).

Soepardi (1983) menjelaskan bahwa sebagian besar timbal tidak tersedia bagi tanaman. Timbal sangat tidak larut dalam tanah, terutama jika tanah tidak terlalu masam. Sebagian besar timbal ditemukan pada lapisan permukaan, suatu petunjuk bahwa hampir tidak ada pergerakan ke bawah. Pengapuran tanah mengurangi ketersediaan timbal dan penyerapannya oleh tanaman, karena (1) pada pH tinggi timbal dapat mengendap sebagai hidroksida, fosfat dan karbonat; (2) ion-ion Ca^{2+} bersaing dengan timbal untuk menempati tapak-tapak pertukaran pada akar dan permukaan tanah (Mengel dan Kirby, 1978 *dalam* Thornton, 1981).

Pada umumnya lapisan permukaan tanah mengandung timbal dalam jumlah yang lebih banyak dibanding dengan horison yang lebih dalam yang didukung oleh banyaknya timbal divalen yang terjepit kuat di dalam tanah, juga pembentukan kelat dengan bahan organik mempunyai kelarutan yang rendah (Legerwerff, 1972 *dalam* Mortvedt *et al.*, 1972)

Tanaman-tanaman mendapatkan timbal melalui daun dan akar dengan sedikit translokasi, konsentrasi timbal terendah ada pada bunga-bunga dan buah atau pada bagian tanaman yang dapat dimakan seperti jagung, kentang dan tomat. Timbal masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan dan makanan. Timbal ini diserap dan diangkut oleh darah kemudian diakumulasikan dalam hati, ginjal,

tulang, limpa, pankreas dan paru-paru. Keracunan timbal pada manusia dimulai dengan sawan dan anemia, kemudian diikuti dengan penyakit syaraf, encok, nepritis kronis, radang otak dan kematian (Legerwerff, 1972 dalam Mortvedt, *et al.*, 1972).

Kadmium (Cd)

Sumber

Secara alami kadmium merupakan unsur yang jarang dan tidak didapatkan dalam bentuk yang murni di lingkungan dan konsentrasinya di dalam bahan mineral biasanya rendah. Kadmium terdapat dalam batuan fosfat dan superfosfat. Kandungannya dalam batuan beku basalt adalah 0.006 - 6 ppm, batuan beku granit 0.003 - 0.18 ppm, lempung dan liat 0 - 11 ppm. Kandungan rata-rata kadmium di dalam tanah adalah < 2 ppm, sedangkan kandungannya dalam tanah-tanah yang kaya akan logam adalah lebih dari 800 ppm (Thornton, 1981).

Sumber utama pencemaran kadmium adalah tambang seng, tembaga dan logam berat lainnya; pabrik minyak; penyepuhan; pabrik semen dan pusat pembakaran sampah (Yuita *et al.*, 1983).

Ormrod (1978) menyatakan bahwa polusi kadmium (Cd) diduga berasal dari proses pembuatan logam, kotoran pada bahan aditif, baja dan seng, serta pemakaian kendaraan dimana kadmium berlaku sebagai pengotor dalam bahan yang mengandung seng. Beberapa pestisida dan pupuk superfosfat juga merupakan sumber kadmium.

Sumber pencemar Cd pada tanaman juga dapat berasal dari pupuk fosfat, yang diketahui mengandung pengotor kadmium. Kandungannya bervariasi dari 1 - 2 ppm untuk kalsium fosfat dan sampai 50 - 170 ppm untuk super fosfat (de Haan dan Zwerman dalam Bolt dan Bruggenwert, 1981). Akan tetapi menurut Allaway (1968) tingkat Cd yang merugikan terhadap manusia tidak semuanya benar berasal

dari tanah ke tanaman dan masuk ke dalam rantai makanan. Allaway berpendapat bahwa sumber lain yang mempunyai kandungan lebih tinggi, seperti dalam atmosfer dan air, ikan dan daging. Shroeder dan Balassa (1963) dalam Allaway (1968) menyebutkan bahwa keberadaan kadmium sebagai bahan pengotor super fosfat mungkin sedikit menyokong terhadap kandungan kadmium di dalam tanaman.

Karakteristik Kadmium

Kadmium dikenal sebagai salah satu pencemar lingkungan yang serius karena sifat racunnya yang tinggi, sifat akumulatif, serta resistensinya di dalam tubuh manusia. Kadmium terutama diakumulasikan di dalam hati, ginjal, pankreas dan kelenjar tiroid pada manusia dan binatang (Faust dan Aly, 1981)

Kadmium dapat terlarut dalam larutan tanah, dijerap permukaan koloid organik maupun anorganik, terikat kuat dalam mineral-mineral tanah, dipresipitasi oleh senyawa-senyawa yang berada di dalam tanah dan terkandung di dalam bahan hidup. Faktor-faktor yang mengatur keseimbangan antara fase padat dan cair kadmium dalam berbagai komponen dan fase tanah antara lain dipengaruhi oleh pH tanah, suhu, kapasitas bahan organik, potensial oksidasi reduksi, komposisi mineral dan tipe serta konsentrasi bahan-bahan terlarut lainnya (Thornton, 1981). Sedangkan Ormrod (1978) menyatakan bahwa tanggap tanaman terhadap unsur kadmium tergantung pada pH tanah, pengapuran, bahan organik tanah, kapasitas tukar kation, kelembaban tanah, kondisi reduksi-oksidasi dan spesies tanaman.

Konsentrasi kadmium cenderung lebih rendah pada biji-bijian yang dapat dimakan, buah-buahan atau umbi-umbian daripada dalam akar atau daun-daun tanaman yang tumbuh pada tanah yang diberi kadmium. Meningkatnya kandungan bahan organik dan pengapuran menurunkan serapan kadmium tanaman (Mac Lean, 1976 dalam Ormrod, 1978).

Kadmium menghambat serapan air, menghambat laju fotosintesis dan pembukaan stomata. Kadmium secara kuat menghambat kegiatan kloroplas dan menyebabkan penurunan jumlah klorofil total serta menurunkan rasio klorofil A/B (Bazzaz dan Govindjee, 1974 dalam Ormrod, 1978). Kadmium sangat membahayakan kesehatan manusia atau binatang yang makan tanaman yang tercemar unsur tersebut. Akumulasi kadmium pada manusia mengakibatkan penyakit hipertensi dan kardiovaskular (Ormrod, 1978).

Kadmium relatif mobil dalam tanah dan dapat diretribusi ke bawah profil maupun ke samping. Bentuk-bentuk kadmium dalam tanah belum dipahami benar, tetapi tampaknya kadmium diserap menuju tapak-tapak pertukaran atau sebagai kompleks organik-logam. Ketersediaannya menurun dengan meningkatnya pH dari 6.5 ke atas (Thornton, 1981).

Kromium (Cr)

Sumber

Menurut Faust dan Aly (1981), konsentrasi Cr dalam kerak samudra berkisar antara 80 - 200 ppm dengan rata-rata 125 ppm. Konsentrasi tertinggi Cr terdapat dalam batuan beku ultra mafik berkisar antara 1000 - 3400 ppm, sedangkan dalam shale dan liat berkisar antara 30 - 590 ppm. Penggunaan fosforit sebagai pupuk merupakan sumber penting kontaminasi Cr terhadap tanah. Dalam masalah penggunaan Cr dinyatakan bahwa industri kimia menggunakan kromit untuk menghasilkan sodium kromat dan sodium dikromat, yang digunakan untuk menghasilkan kromium-kromium lain. Kebanyakan asam kromik yang dihasilkan digunakan untuk lempengan *chrome*. Kromium digunakan sebagai bahan penyamakan, *pigmen katalisator*, bahan pengawet kayu dan *inhibitor karat*. Aplikasi industri dan penggunaan industri akan senyawa Cr yang dihasilkan pada emisi udara dan air limbah dapat mengkontaminasi alam lingkungan bila tidak dikontrol dengan tepat.

Karakteristik Kromium

Kromium dalam mantel bumi banyak dijumpai dalam bentuk kromit (FeCr_2O_4) dalam campuran oksida-oksida kromium, besi dan aluminium atau kisi-kisi silikat. Dalam bentuk-bentuk seperti ini tidak larut dan kecil sekali untuk dapat diambil oleh tanaman. Bentuk kromat jarang sekali dijumpai di alam dan hanya akan stabil dalam keadaan alkalin dan kondisi oksidasi (Goldschmidt, 1954 *dalam* Allaway, 1968).

Di dalam tanah pada umumnya kromium dijumpai dalam bentuk-bentuk ion kromik (Cr^{3+}) dan kromat (Cr^{6+}). Bentuk-bentuk kromat keseimbangannya tergantung pada pH, bentuk-bentuknya dapat berupa HCrO_4^- dan dikromat (Cr_2O_7), dimana CrO_4^{2-} di atas pH 6 adalah dominan. Dikromat di dalam tanah akan cenderung direduksi menjadi Cr^{3+} oleh bahan-bahan organik. Perubahan Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} diikuti oleh pembentukan campuran hidroksida Cr dan Fe (Peterson dan Girling, 1981). Selanjutnya dikatakan pula bahwa perilaku kromium dalam bentuk yang teroksidasi di dalam tanah merupakan masalah lingkungan yang penting, karena Cr^{6+} bersifat lebih beracun untuk tanaman dibandingkan Cr^{3+} . Percobaan Bartlett dan James (1979) *dalam* Peterson dan Girling (1981), menunjukkan bahwa penurunan pertumbuhan tanaman yang diakibatkan oleh keracunan Cr^{6+} mengikuti oksidasi Cr^{3+} yang ditambahkan ke dalam tanah.

Tanaman biasanya mengambil Cr dalam bentuk kromat, Cr^{6+} . Mobilitas Cr akan tertinggal di dalam bagian dimana penyerapan berlangsung. Cr tidak termasuk unsur esensial bagi tanaman, konsentrasi normal Cr pada tanaman umumnya antara selang 0.03 sampai 1 ppm (Allaway, 1968)

Transportasi krom dari bagian akar ke bagian atas tanaman sangat lambat. Percobaan Shewry dan Peterson (1974) *dalam* Peterson dan Girling (1981) mengindikasikan kurang dari 1 % krom yang diakumulasikan, ditransportasikan ke batang.

Tembaga (Cu)

Sumber

Distribusi tembaga di permukaan bumi sangat bervariasi, tergantung kepada jenis batuan induknya. Batuan-batuan eruptif basa mengandung 100 hingga 200 ppm; batuan eruptif masam mengandung 10 - 20 ppm; batuan metamorf dan sedimen tertentu mengandung hingga 10 - 15 ppm (Aubert dan Pinta, 1977).

Menurut Massey (1973) dalam Lepp (1981) kandungan tembaga di dalam kerak bumi adalah 70 ppm, menjadi penyusun dari berbagai tanah tambang yang berbeda. Dalam hal ini *chalcopryrite* (CuFeS_2) diperkirakan merupakan 50 persen dari deposit tembaga total dunia. Logam-logam lain yang bergabung dengan tembaga di dalam deposit tanah tambang termasuk arsenik (*enargite*, *tennantite*) dan Antimoni (tetrahedrite). Sulfida (*chalcopryrite*, *conveltite*), oksida (*cuprite*, *tenerite*), karbonat (*malachite*, *azurite*), sulfat (*antlerite*, *brochantite*) dan tembaga native menyusun besarnya sumber-sumber tembaga yang lain. Ekstraksi tembaga dari sumber-sumber ini sering menimbulkan masalah pencemaran di sekitar lokasi pengestrakan tembaga. Disamping berasal dari tanah tambang, sumber pencemaran tembaga pada tanah menurut Bowen (1966) dalam Soepardi (1983) dapat berasal dari debu industri, comberan pabrik dan fungisida.

Kandungan tembaga di dalam tanah rata-rata 20 ppm (Aubert dan Pinta, 1977; Bowen, 1966), dengan kisaran dari 2 sampai 100 ppm (Bowen, 1966). Konsentrasi tembaga di dalam tanah tergantung kepada bahan induk (terutama batuan vulkanik basa), humus, bahan organik, kandungan liat dan pH tanah. Tanah yang ber-pH basa atau netral, yang kaya dengan humus, mengandung lebih banyak tembaga daripada tanah-tanah yang ber-pH masam (Aubert dan Pinta, 1977).

Karakteristik Tembaga

Menurut Ellis dan Knezek (1972) *dalam* Davies (1980), lebih dari 98 % tembaga dalam larutan tanah berada dalam bentuk kompleks organik. Keberadaan kompleks Cu dengan bahan organik tanah sangat stabil, ditunjukkan oleh gugus fungsional karboksil dan fenolik yang sangat penting dalam mengikat Cu tanah.

Pada umumnya di dalam larutan, Cu berada dalam bentuk ion divalen sederhana Cu^{2+} atau ion monovalen dari sejumlah kompleks stabil ionik, ion cupro Cu^+ tidak stabil pada suhu biasa di dalam konsentrasi yang lebih besar dari 10^{-7} M. Pada konsentrasi lebih tinggi dapat berada dalam larutan, hanya dalam bentuk kompleks anionik seperti CuCl_2 (Krausskopf, 1972 *dalam* Mortvedt *et al.*, 1972).

Di dalam tanah tembaga akan banyak mengalami kejadian yang disebabkan oleh pengaruh sifat-sifat bahan penyusun tanah. McLaren dan Crawford (1973) *dalam* Lepp (1981) memperkirakan terdapat lima fraksi utama dari tembaga di dalam tanah, yaitu (a) tembaga di dalam larutan tanah dan tembaga dapat dipertukarkan, (b) tembaga yang terikat lemah oleh permukaan jerapan inorganik, (c) tembaga yang berikatan organik, (d) okluded tembaga oleh oksida bebas, (e) tembaga residu, terutama dipegang dalam kisi-kisi liat. Dari kelima fraksi ini, cadangan tembaga tanah yang dapat digunakan oleh tanaman tersimpan dalam bentuk (c), yaitu dalam bentuk yang berikatan organik.

Di dalam tempat dimana mineral Cu berada di bawah kondisi yang reduktif, bentuk yang terjadi dalam larutan adalah kompleks tembaga klorida, CuCl^+ (Krausskopf, 1972 *dalam* Mortvedt *et al.*, 1972).

Tembaga terdapat di seluruh jaringan tumbuh-tumbuhan terutama dalam daun-daun hijau dan biji (Price, Clark dan Funk Houser, 1972 *dalam* Mortvedt *et al.*, 1972). Kandungan Cu di daun rata-rata dari 3 - 7 ppm pada berat kering sedangkan keracunan akan dimulai pada 20 - 30 ppm.

Tembaga dibuktikan berpengaruh sebagai faktor penting pada proses-proses biokimia. Banyak enzim membutuhkan Cu sebagai kofaktor dan Cu juga mempunyai afinitas yang kuat dalam protein non katalik. Pada tanaman, sistem enzim membutuhkan Cu dalam bentuk oksida yaitu oksida askorbik, tiroinase, diamin oksidase dan fenol oksidase (Lepp, 1981).

Gejala keracunan tembaga pada tanaman ditandai oleh terjadinya klorosis pada daun, gejala ini sebenarnya merupakan gejala kekurangan besi, yang disebabkan oleh pengaruh antagonisme Fe dan Cu. Tingginya konsentrasi Cu akan menyebabkan penurunan kandungan Fe pada tanaman. Besarnya Cu yang meracuni tanaman belum diketahui, sedangkan kadar Cu yang menyebabkan gejala defisiensi adalah 4 ppm (Leiwakabessy, 1986). Namun setiap tanaman mempunyai respon yang berbeda-beda terhadap keberadaan Cu.

Di dalam larutan pada umumnya Cu berada dalam bentuk ion divalen sederhana, Cu^{2+} atau satu dari sejumlah kompleks stabil ion ini. Ion Cupro, Cu^+ adalah tidak stabil pada suhu biasa di dalam konsentrasi yang lebih tinggi dia dapat berada dalam larutan hanya dalam bentuk kompleks anionik, seperti CuCl_2^- (Krausskopf, 1972 dalam Mortvedt, *et al.*, 1972).

Bahan Organik

Bahan organik adalah bagian dari tanah yang merupakan suatu sistem kompleks dan dinamis, berasal dari sisa tanaman dan hewan yang mengalami perubahan bentuk secara terus-menerus. Perubahan-perubahan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor biologi, fisika dan kimia (Kononova, 1966).

Tisdale dan Nelson (1975) menggolongkan bahan organik dalam dua tingkatan. Pertama adalah bahan organik yang relatif stabil dan agak resisten terhadap dekomposisi selanjutnya, sering disebut sebagai humus. Kedua meliputi semua

bahan organik yang secara cepat dapat didekomposisikan yaitu sisa-sisa tanaman yang masih segar.

Sumber utama bahan organik tanah adalah jaringan tanaman, sedangkan binatang biasanya dianggap sebagai penyumbang bahan organik kedua setelah tanaman. Sebagai sumber bahan organik, pupuk kandang penting dalam mempertahankan kesuburan tanah. Pupuk tersebut terdiri dari kotoran hewan ternak dalam bentuk padat atau cair yang tercampur dengan sisa-sisa makanan (Soepardi, 1983).

Jika dibandingkan dengan pupuk buatan, pupuk kandang mempunyai kandungan unsur hara dalam jumlah sedikit, tetapi kelebihanannya disamping dapat meningkatkan hara juga meningkatkan humus, memperbaiki struktur tanah dan mendorong kehidupan jasad mikro. Pupuk kandang merupakan pupuk lambat bereaksi, karena sebagian besar dari zat makanan pada pupuk tersebut harus mengalami berbagai perubahan sebelum tersedia dan siap diserap oleh tanaman. Oleh karena itu, tanah yang diberi pupuk kandang dalam jangka waktu yang lama masih dapat memberikan hasil yang baik karena hara yang ada berangsur-angsur menjadi bebas dan tersedia bagi tanaman (Sabiham, Soepardi dan Djokosudardjo, 1982).

Pemberian bahan organik dapat memperbaiki pertumbuhan dan produksi tanaman, terutama pada tanaman lahan kering. Pengaruh bahan organik yang diberikan ke dalam tanah terhadap tanaman merupakan pengaruh langsung dan tidak langsung. Kedua pengaruh ini melibatkan tiga proses yaitu proses kimia, fisika dan biologi. Proses kimia meliputi (1) menambah dan meningkatkan ketersediaan unsur hara, (2) meningkatkan pH tanah, (3) meningkatkan KTK tanah, (4) menurunkan fiksasi P, (5) pengikatan aluminium dan besi, (6) meningkatkan kapasitas menyangga tanah, (7) menaikkan kandungan C-organik, N-total, dan Ca dapat ditukarkan, dan (8) membantu proses penghancuran dan perubahan dari bagian-bagian mineral tanah. Untuk proses fisika mencakup (1) memperbaiki dan

membantu pembentukan struktur tanah, (2) meningkatkan kapasitas menahan air, (3) meningkatkan kapasitas infiltrasi, (4) memperbaiki aerasi, (5) mengubah warna tanah, (6) mengurangi aliran permukaan, dan (7) menurunkan kepekaan terhadap erosi. Selanjutnya untuk proses biologi mencakup (1) merangsang dan mengaktifkan mikroorganisme baik mikroflora maupun mikrofauna, dan (2) menaikkan efisiensi fotosintesis tanaman (Soepardi, 1983; dan Stevenson, 1982).

Bahan organik yang diberikan ke dalam tanah akan mengalami penguraian menjadi bentuk-bentuk sederhana melalui proses biologi yakni karbon (C) mengalami sirkulasi ke atmosfer dalam bentuk karbondioksida (CO_2), nitrogen (N) menjadi bentuk tersedia berupa senyawa amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-), dan senyawa lain seperti fosfor (P), belerang (S), dan berbagai unsur mikro lainnya (Stevenson, 1982).

Kangkung

Kangkung darat (*Ipomoea reptans* Poir.) termasuk famili Convolvulaceae, jenis tanaman setahun atau menahun yang tumbuhnya merambat atau membelit (Backer dan Bakhuizen van den Brink, 1965). Kangkung sebenarnya merupakan tumbuhan darat, tetapi bersifat semi-akuatik, terbukti dari bijinya yang tidak tumbuh di tempat yang tergenang (Hambali, 1981). Batang kangkung panjang, berlubang dan berair (Sunaryono, 1972).

Bunga seperti terompet, panjangnya lebih kurang 3 - 5 cm. Daun pelindung kecil, daun kelopak bertepi pucat berbentuk bulat telur memanjang. Benang-sari tidak sama panjang, tertancap dalam dan tonjolan dasar bunga berbentuk cincin. Tangkai putik berbentuk benang dan kepala putik berbentuk bola rangkap (Backer dan Bakhuizen van den Brink, 1965).

Tanaman kangkung diduga berasal dari daerah Asia tropik dan terdapat luas di India, Asia Tenggara, Taiwan dan China yang kemudian menyebar ke Fiji,

Hawaii dan Florida (Anonymous, 1976). Tanaman kangkung dikenal dengan berbagai nama lokal antara lain: swamp cabbage, water spinach, water convolvulus, cangcong di Philipina, kankong di Malaysia, vallai kirai di Tamil, kangkueng di Kalayan, lilidih di Siam, kalamisag di India (Satpathy, 1964; Burkill, 1966 dan Herklots, 1972).

Menurut Hambali (1981), warna bunga kangkung ada dua jenis, yaitu putih dan merah lembayung pada corong bunganya. Jenis yang bercorong putih biasanya disertai dengan warna batang hijau muda atau hijau kekuningan. Kedua tipe kangkung ini ditanam petani, baik sebagai kangkung air maupun sebagai kangkung darat. Bunga kangkung mempunyai ketidakserasian dalam penyerbukan sendiri, oleh karena itu penyerbukan silang yang dibantu serangga *nomia quadridentata* Sm. dan *Nomia strigata* F. lebih dominan. Buah kangkung yang telah masak berwarna putih kecoklatan, kulitnya liat, beruang dua dan tiap ruang biasanya berisi dua benih yang berwarna coklat kehitaman dan berbulu pendek halus. Akar kangkung keluar dari bagian batang yang bersentuhan dengan tanah. Kangkung darat (*Ipomoea reptans* Poir.) mempunyai daun panjang dengan ujung agak runting, berwarna hijau keputihan (Anonymous, 1977; Tindall, 1978).

Manfaat Kangkung

Daun dan batang kangkung selain dimanfaatkan sebagai sayuran, juga digunakan sebagai makanan ternak, misalnya untuk makanan sapi dan babi (Herklots, 1972).

Di luar negeri, pengusahaan kangkung di kolam sangat memberikan keuntungan. Selain dapat dijadikan makanan dan perlindungan bagi ikan, juga memberikan hasil 766.5 kg protein dan 1058.5 karbohidrat tiap hektar kolam (Bardach, Ryther dan Mc Larney, 1973). Burkill (1966) mengemukakan bahwa kangkung juga dapat digunakan sebagai obat pencuci perut dan ransum makanan ternak.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Rumah Kaca Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Analisis sifat fisik tanah dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian IPB dan Laboratorium Konservasi Tanah, Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. Analisis kimia dilakukan di Laboratorium P3S Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian IPB dan Laboratorium Sub Bagian Zat Hara, Balai Penelitian Tanaman Pangan Cimanggu, Bogor.

Penelitian dilakukan dari bulan Juli 1992 sampai Januari 1993.

Bahan dan Alat

Tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah kangkung darat (*Ipomoea reptans*) varietas Bangkok LP-1 dengan pupuk dasar Urea, TSP dan KCl dengan dosis berturut-turut 1.5 gram, 0.5 gram dan 1 gram tiap polibag (setara 5 kg dalam berat kering mutlak/BKM).

Campuran tanah Regosol dan limbah industri yang mengandung logam berat serta kotoran sapi digunakan sebagai media pertumbuhan, setelah sebelumnya difumigasi dengan menggunakan Basamid G dengan dosis 40 g/m².

Untuk menanggulangi hama dan penyakit digunakan pestisida Dithane M-45, dan Azodrin dengan dosis berturut-turut 1 gram/liter dan 2 cc/liter.

Alat-alat yang digunakan adalah ember, timbangan, alat penyemprot, penggaris dan alat-alat tulis serta alat-alat untuk analisis di laboratorium.

Rancangan Percobaan

Rancangan yang dipergunakan adalah rancangan faktorial dalam rancangan acak lengkap dengan faktor yang dipergunakan yaitu dosis limbah dan kotoran sapi.

Model rancangannya adalah:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = variabel yang diukur

μ = rata-rata umum

α_i = pengaruh perlakuan ke-i

β_j = pengaruh perlakuan ke-j

$\alpha\beta_{ij}$ = pengaruh interaksi perlakuan ke-i dan perlakuan ke-j

ϵ_{ijk} = galat

Metode Penelitian

Contoh tanah yang dipergunakan diambil dari lapisan atas 0 - 30 cm. Setelah itu dikeringudarkan dan disaring melalui saringan 5 mm. Limbah yang semula dalam keadaan cair, dikeringkan kemudian ditumbuk dan disaring dengan saringan 2 mm. Kotoran sapi yang telah matang, sebelum dicampurkan disaring dengan saringan 2 mm, kemudian dicampurkan ke dalam tanah bersama-sama dengan pemberian limbah.

Percobaan terdiri dari 12 perlakuan (termasuk kontrol), yang masing-masing terdiri dari 6 ulangan, sehingga terdapat 72 satuan percobaan. Perlakuan yang diberikan meliputi limbah industri dan kotoran sapi, yaitu:

L0K0 = 0% limbah, 0% kotoran sapi

L0K1 = 0% limbah, 0.5% kotoran sapi

L0K2 = 0% limbah, 1% kotoran sapi

L1K0 = 2.5% limbah, 0% kotoran sapi

L1K1 = 2.5% limbah, 0.5% kotoran sapi

L1K2 = 2.5% limbah, 1% kotoran sapi

L2K0 = 5% limbah, 0% kotoran sapi

L2K1 = 5% limbah, 0.5% kotoran sapi

L2K2 = 5% limbah, 1% kotoran sapi

L3K0 = 7.5% limbah, 0% kotoran sapi

L3K1 = 7.5% limbah, 0.5% kotoran sapi

L3K2 = 7.5% limbah, 1% kotoran sapi

Persentase pemberian limbah dan kotoran sapi didasarkan pada bobot tanah 5 kg BKM. Sebelum penelitian, dilakukan analisis awal untuk tanah, limbah dan kotoran sapi.

Penetapan sifat fisik tanah, mempergunakan 3 ulangan untuk masing-masing perlakuan, sehingga terdapat 36 satuan percobaan.

Pengaruh perlakuan yang diberikan dilihat dengan sidik ragam. Beda antar perlakuan diketahui dengan uji beda nyata terkecil (BNT).

Pelaksanaan Percobaan Rumah Kaca

Sebelum campuran media dipergunakan, tanah difumigasi terlebih dahulu dengan menggunakan Basamid G dengan dosis 40 g/m². Fumigasi dilakukan dengan mencampur media dengan Basamid G. Setelah itu media tersebut diinkubasi dalam keadaan tertutup selama seminggu. Kemudian media tersebut dianginkan dan setelah itu media siap ditanami. Media dipersiapkan sesuai perlakuan, dengan masing-masing polibag setara dengan 5 kg (BKM).

Benih kangkung direndam $\pm$ 24 jam sebelum ditanam. Benih kangkung ditanam dengan memasukkan ke dalam tanah sedalam $\pm$ 1 cm. Pada saat penanaman juga diberi pupuk dasar Urea 1.5 gram, TSP 0.5 gram dan KCl 1 gram per polibag.

Pemeliharaan meliputi penyemprotan pestisida bila terlihat ada gejala serangan pada tanaman. Penyiraman dilakukan setiap hari atau tergantung kelembaban tanah.

Pengamatan dilakukan setiap minggu, dimulai minggu ke-2 sampai minggu ke-5 setelah tanam terhadap tinggi dan jumlah daun. Tanaman dipanen pada umur 5 minggu setelah tanam (MST) dan ditimbang bobot basah saat panen serta bobot kering tanaman setelah panen.

Untuk analisis sifat fisik tanah, digunakan contoh tanah utuh yang diambil dari polibag dengan menggunakan ring sampel. Sifat fisik yang diamati adalah bobot isi, ruang pori total dan distribusi ukuran pori. Sedangkan sifat kimia yang diamati adalah serapan logam berat Pb, Cd, Cr dan Cu oleh tanaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik Tanah

Bobot Isi dan Porositas Total

Bobot isi merupakan indikator kepadatan tanah yang sangat erat kaitannya dengan aspek mekanis perkembangan akar tanaman. Bila tanah dalam keadaan padat, maka akar tanaman akan mengalami kesukaran dalam menembus tanah, sehingga akan menghambat tanaman memperoleh air maupun unsur hara. Bobot isi ditentukan oleh jumlah ruang pori dan padatan tanah.

Menurut Soepardi (1983), ruang pori tanah merupakan bagian yang ditempati air dan udara. Cara tersusunnya partikel dalam tanah menentukan banyaknya ruang pori. Bila partikel tersusun secara sarang, dalam tiap satuan isi akan dijumpai banyak ruang pori.

Hasil penetapan bobot isi dan ruang pori total setelah perlakuan pemberian limbah dan kotoran sapi disajikan pada Tabel Lampiran 15. Analisis ragam untuk bobot isi disajikan pada Tabel Lampiran 5 sedangkan analisis ragam untuk ruang pori total disajikan pada Tabel Lampiran 6. Uji beda nyata terkecil terhadap nilai bobot isi tanah disajikan pada Tabel 1, sedangkan hasil uji beda nyata terkecil terhadap nilai porositas total tanah disajikan pada Tabel 2.

Limbah berpengaruh menurunkan nilai bobot isi dan meningkatkan nilai ruang pori total. Penurunan nilai bobot isi dan peningkatan nilai ruang pori total nyata pada dosis limbah 5% dan 7.5%. Kotoran sapi juga berpengaruh menurunkan nilai bobot isi dan meningkatkan nilai ruang pori total. Penurunan bobot isi dan peningkatan ruang pori total nyata pada dosis 1%.

Tabel 1. Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Bobot Isi Tanah

Dosis Limbah	Dosis Kotoran Sapi						Rata-rata
	0% (K0)		0.5% (K1)		1% (K2)		
	g/cm ³						
0% (L0)	1.13	b	1.12	b	1.11	b	1.12 c
2.5% (L1)	1.11	b	1.10	b	1.06	ab	1.09 bc
5% (L2)	1.11	b	1.10	b	0.95	a	1.06 ab
7.5% (L3)	1.11	b	1.10	b	0.95	a	1.05 a
Rata-rata	1.12	b	1.11	b	1.02	a	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom dan baris tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%

Tabel 2. Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Ruang Pori Total Tanah

Dosis Limbah	Dosis Kotoran Sapi			Rata-rata
	0% (K0)	0.5% (K1)	1% (K2)	
	% Volume.....			
0% (L0)	57.37 a	57.74 a	58.03 a	57.71 a
2.5% (L1)	57.97 a	58.50 a	60.10 ab	58.86 ab
5% (L2)	58.04 a	58.41 a	64.04 b	60.16 bc
7.5% (L3)	58.15 a	58.54 a	63.98 b	60.23 c
Rata-rata	57.89 a	58.30 a	61.54 b	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom dan baris tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%

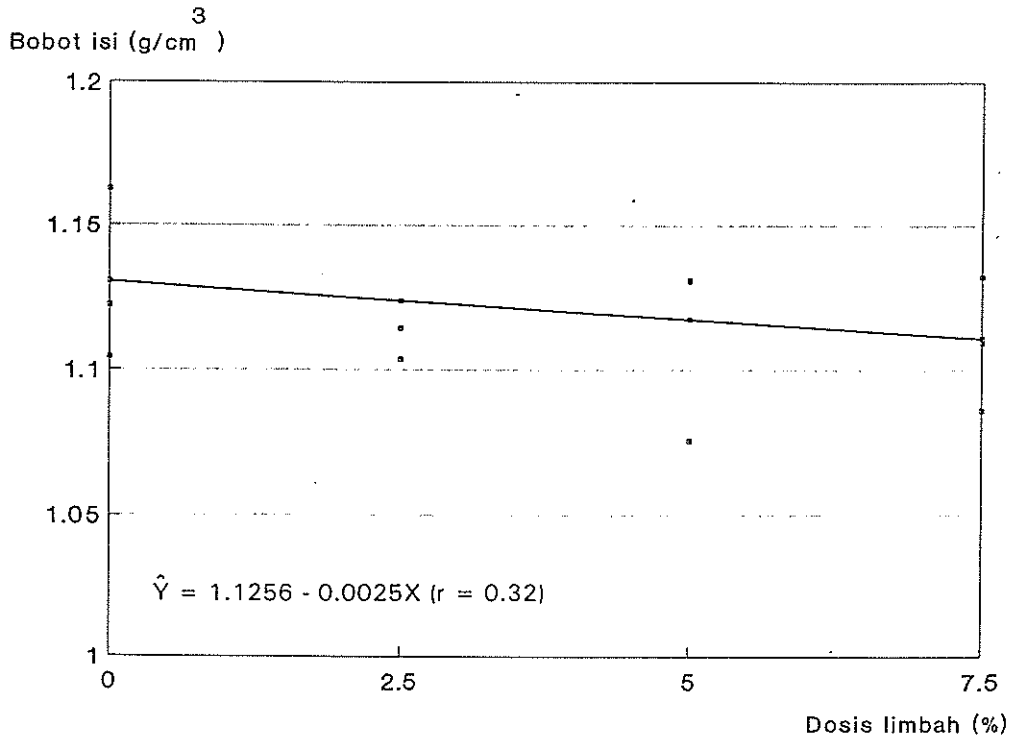
Penurunan bobot isi tanah ini disebabkan karena dengan bertambahnya bahan organik, yang terkandung dalam limbah dan kotoran sapi yang diberikan akan

merangsang granulasi tanah sehingga akan menciptakan keadaan sarang. Keadaan ini akan menurunkan bobot isi tanah. Fungsi bahan organik dari limbah dan kotoran sapi dalam hal ini adalah sebagai granulator, yaitu merangsang granulasi dan memperbaiki struktur, dimana partikel-partikel menjadi tidak berdekatan satu sama lain sehingga mendukung keadaan sarang. Keadaan sarang yang terbentuk ini akan meningkatkan ruang pori total. Peningkatan ruang pori total tanah ini sejalan dengan penurunan bobot isi tanah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Foth (1978), yaitu bahwa bila bobot isi tanah menurun maka ruang pori akan bertambah akibat volume berat padatan tanah berkurang.

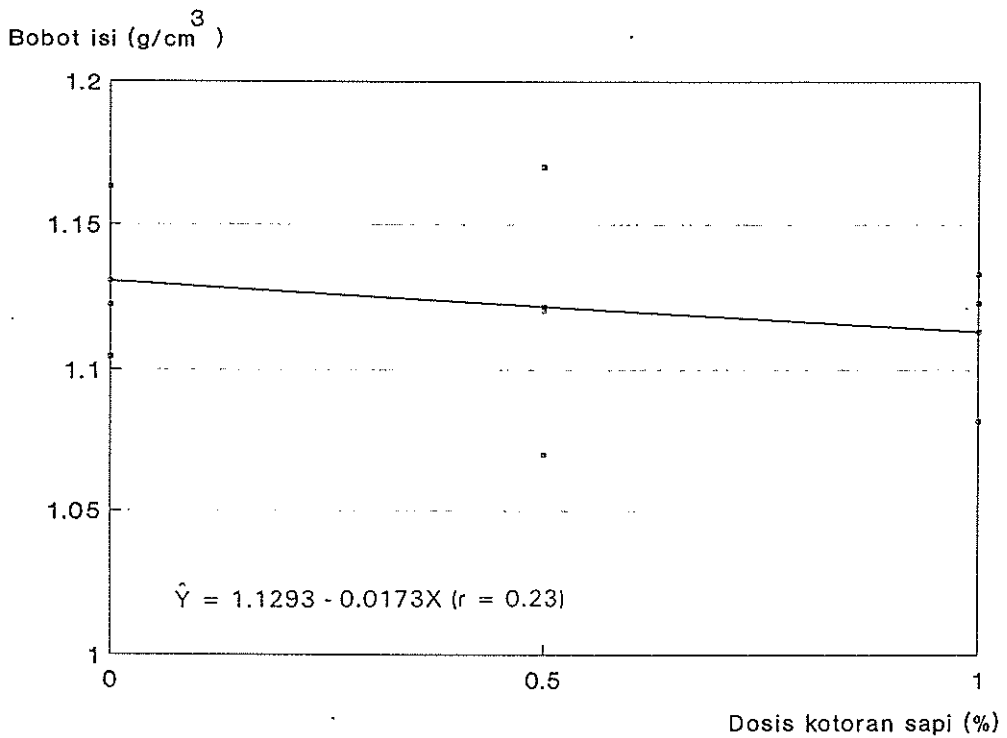
Pengaruh dosis limbah dan kotoran sapi terhadap nilai bobot isi tanah diilustrasikan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Sedangkan pengaruh dosis limbah dan kotoran sapi terhadap nilai ruang pori total tanah diilustrasikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Interaksi limbah dan kotoran sapi terhadap bobot isi dan ruang pori total tanah berpengaruh nyata pada dosis limbah 5% dan 7.5% dengan dosis kotoran sapi 1% (L2K2 dan L3K2). Secara umum pola yang terlihat yaitu dengan semakin bertambahnya dosis limbah dan kotoran sapi yang diberikan sebagai perlakuan, nilai bobot isi semakin rendah, sedangkan nilai ruang pori total tanah semakin tinggi.

Dengan semakin bertambahnya dosis limbah dan dosis kotoran sapi, maka sumbangan bahan organik ke tanah juga semakin besar. Kandungan bahan organik yang semakin besar akan semakin merangsang granulasi, sehingga mengakibatkan tanah menjadi semakin sarang. Keadaan ini akan meningkatkan ruang pori total, dan menurunkan bobot isi.

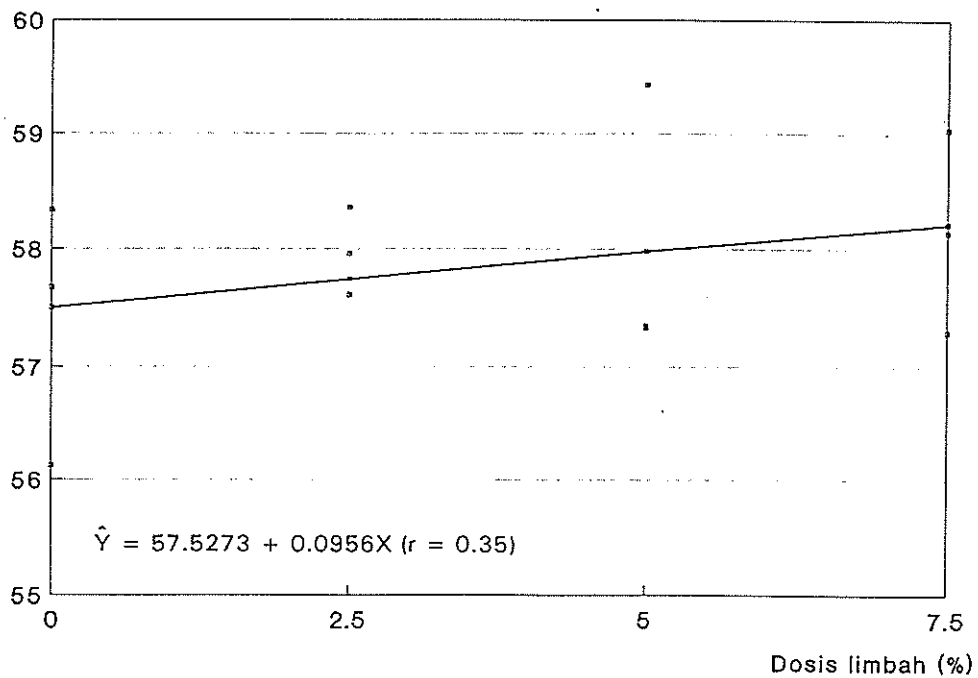


Gambar 1. Hubungan antara Dosis Limbah dengan Nilai Bobot Isi Tanah



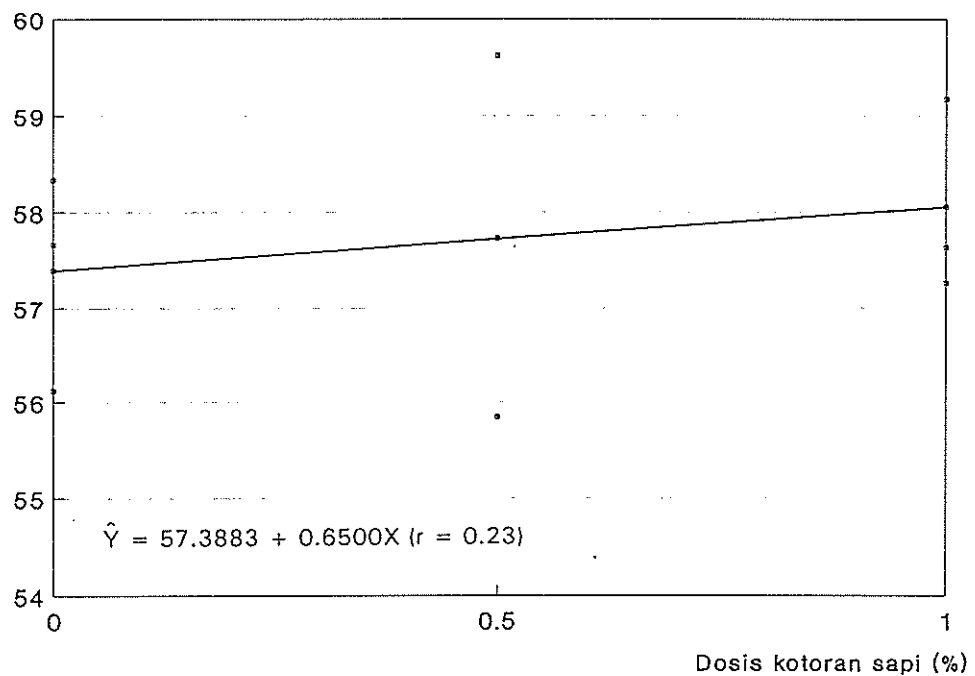
Gambar 2. Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi Dengan Nilai Bobot Isi Tanah

RPT (% volume)



Gambar 3. Hubungan antara Dosis Limbah dengan Nilai Ruang Pori Total Tanah

RPT (% volume)



Gambar 4. Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Nilai Ruang Pori Total Tanah

Distribusi Ukuran Pori

Untuk mendapatkan kondisi aerasi dan drainase yang baik bagi pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman dibutuhkan proporsi yang berimbang antara pori makro dan pori mikro. Pori total tanah yang tinggi belum tentu akan mendukung aerasi dan drainase yang lancar. Untuk itu diperlukan distribusi ukuran pori yang cukup berimbang dan pori tersebut harus kontinyu.

Pori drainase (pori makro/pori non kapiler) adalah ruangan-ruangan yang terdapat diantara butir-butir tanah yang memberikan kesempatan pada air untuk bebas bergerak ke bawah dan merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menstimulir pergerakan air dan udara dalam tanah. Pori drainase ini merupakan pori yang berguna, yang terdiri dari pori drainase sangat cepat (PDSC), pori drainase cepat (PDC) dan pori drainase lambat (PDL).

Hasil penetapan distribusi ukuran pori setelah perlakuan disajikan pada Tabel Lampiran 15. Analisis ragam disajikan pada Tabel Lampiran 7, Tabel Lampiran 8 dan Tabel Lampiran 9.

Uji beda nyata terkecil terhadap nilai pori drainase sangat cepat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Pori Drainase Sangat Cepat

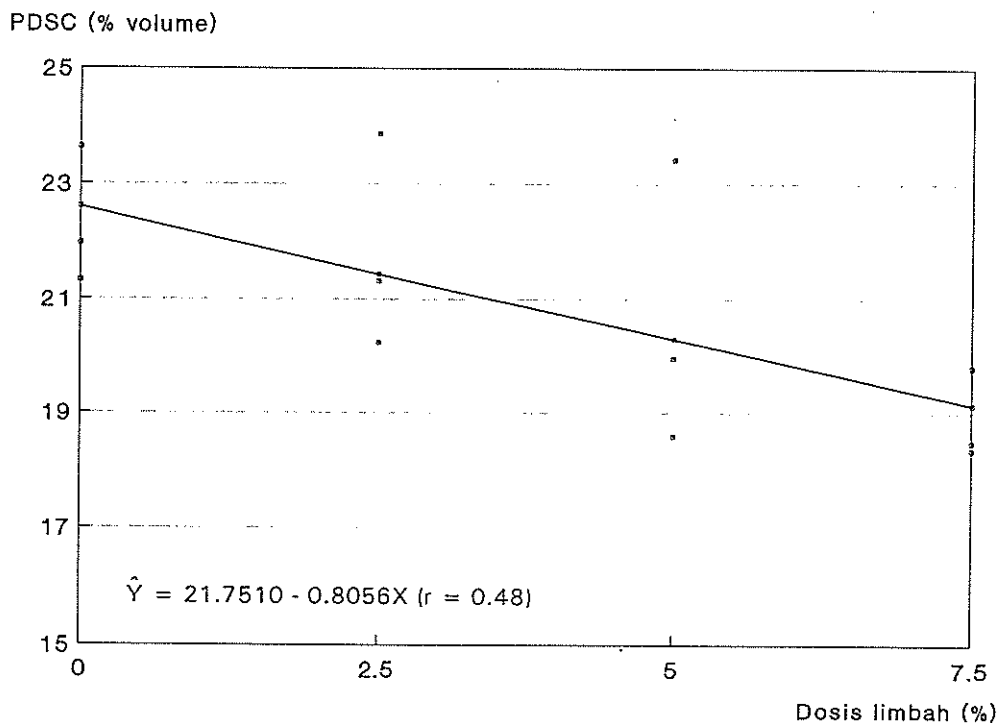
Dosis Limbah	Dosis Kotoran Sapi			Rata-rata
	0% (K0)	0.5% (K1)	1% (K2)	
	% Volume.....			
0% (L0)	22.31	18.40	18.64	19.78 b
2.5% (L1)	21.80	18.55	18.62	19.66 b
5% (L2)	20.55	18.54	18.97	19.35 b
7.5% (L3)	18.87	14.92	13.62	15.80 a
Rata-rata	20.88 b	17.60 a	17.46 a	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom dan baris tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%

Limbah yang diberikan berpengaruh nyata menurunkan nilai pori drainase sangat cepat, yaitu pada dosis 7.5%. Sedangkan kotoran sapi juga berpengaruh nyata menurunkan nilai pori drainase sangat cepat pada dosis 0.5% dan 1%.

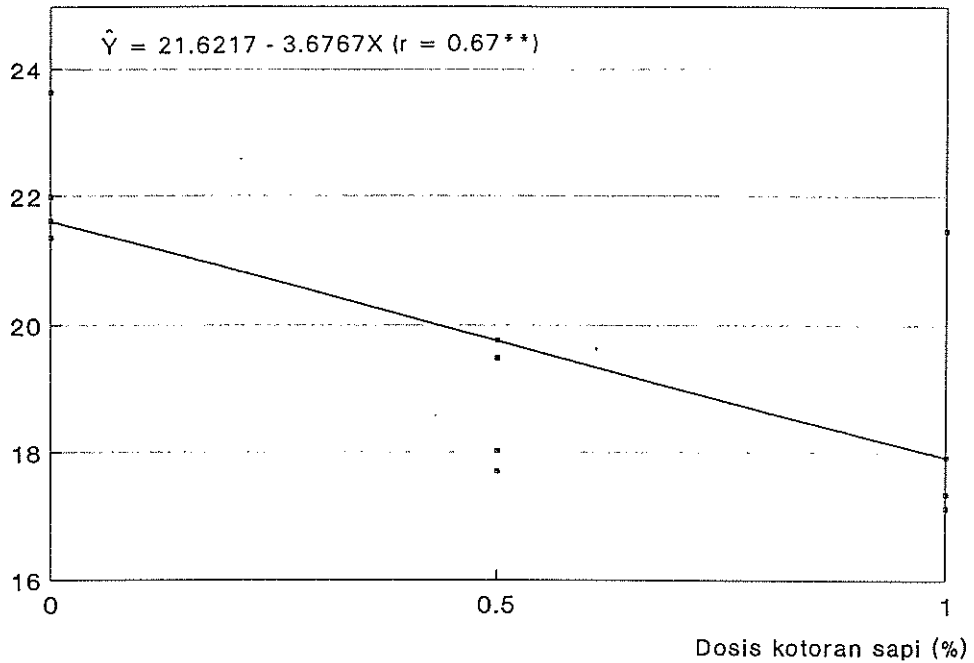
Pori drainase sangat cepat menurun terutama disebabkan oleh sifat hidrofilik bahan organik yang meningkatkan kemampuan memegang air dan juga fungsinya dalam merangsang granulasi dan memperbaiki agregasi tanah. Bahan organik berperan dalam pengikatan zarah-zarah tanah, yang memungkinkan zarah yang bersifat lepas menjadi terikat. Selain itu pori makro yang dominan pada tanah yang digunakan juga terisi oleh bahan organik yang ditambahkan. Mekanisme tersebut akan menurunkan pori drainase sangat cepat.

Pengaruh limbah dan kotoran sapi terhadap nilai pori drainase sangat cepat diilustrasikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Hubungan antara Dosis Limbah dengan Nilai Pori Drainase Sangat Cepat

PDSC (% volume)



Gambar 6. Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Nilai Pori Drainase Sangat Cepat

Interaksi antara limbah dan kotoran sapi tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap pori drainase sangat cepat, tetapi secara umum pola yang terlihat adalah pori drainase sangat cepat semakin menurun dengan semakin bertambahnya dosis limbah dan kotoran sapi. Penurunan tersebut disebabkan oleh peranan bahan organik baik yang berasal dari limbah maupun dari kotoran sapi.

Uji beda nyata terkecil terhadap nilai pori drainase cepat disajikan pada Tabel 4.

Pengaruh limbah yang diberikan terhadap nilai pori drainase cepat tidak nyata. Walaupun begitu terdapat kecenderungan adanya penurunan nilai pori drainase cepat dengan peningkatan dosis limbah yang diberikan. Hal ini karena sifat hidrofilik limbah yang relatif lebih kuat sehingga kemampuan memegang air relatif lebih tinggi. Dengan demikian, jumlah air yang dapat ditahan relatif lebih

tinggi. Jumlah air dapat ditahan yang semakin meningkat ini menyebabkan nilai pori drainase cepat yang terukur menjadi menurun. Sedangkan kotoran sapi mempunyai kecenderungan meningkatkan nilai pori drainase cepat, walau peningkatannya tidak nyata. Bahan organik yang dikandung kotoran sapi lebih berperan dalam pengikatan zarah-zarah tanah yang menyebabkan zarah yang lepas menjadi terikat yang mengakibatkan meningkatnya nilai pori drainase cepat.

Tabel 4. Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Pori Drainase Cepat

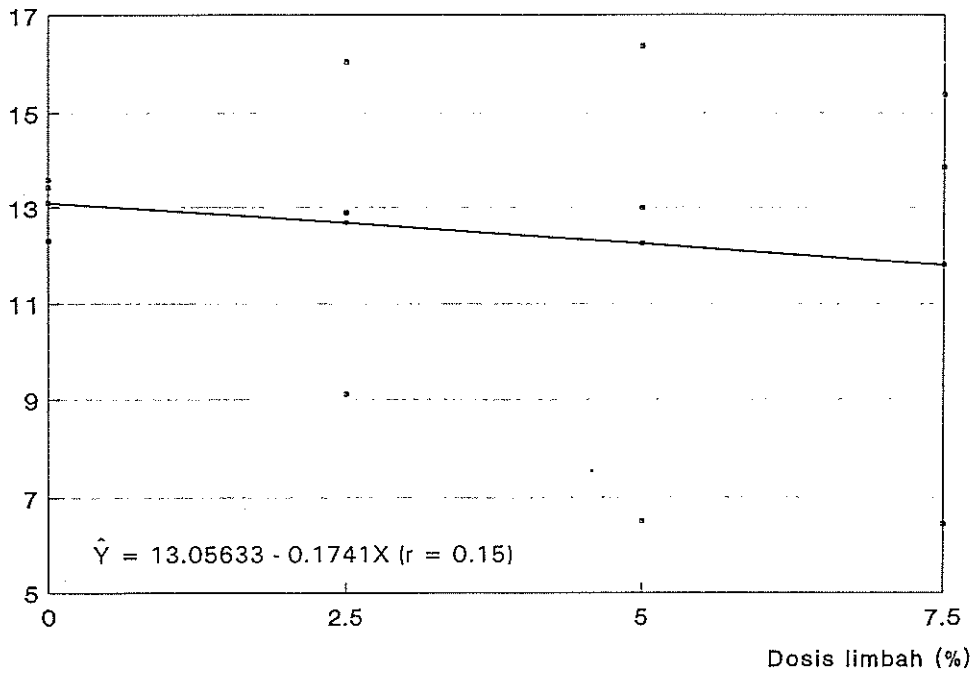
Dosis Limbah	Dosis Kotoran Sapi			Rata-rata
	0% (K0)	0.5% (K1)	1% (K2)	
	 % Volume.....			
0% (L0)	13.10	13.40	16.20	14.24
2.5% (L1)	12.67	13.61	15.28	13.85
5% (L2)	11.95	13.53	14.45	13.31
7.5% (L3)	11.89	12.81	12.04	12.25
Rata-rata	12.40	13.34	14.49	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom dan baris tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%

Pengaruh limbah dan kotoran sapi terhadap nilai pori drainase cepat diilustrasikan pada Gambar 7 dan Gambar 8.

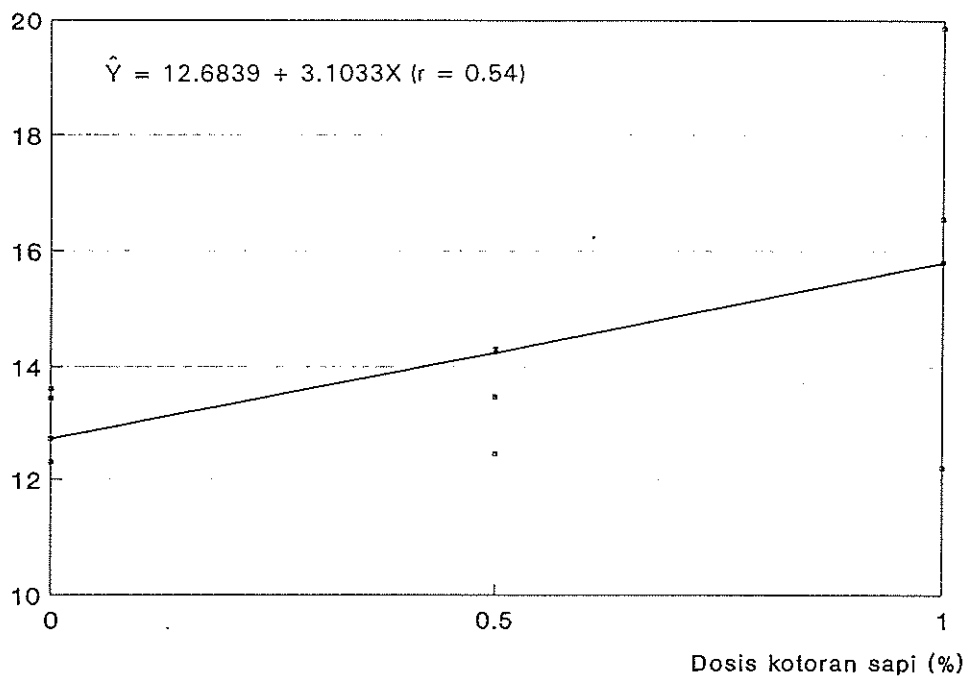
Interaksi antara limbah dan kotoran sapi terhadap nilai pori drainase cepat sejalan dengan pengaruh dari masing-masing faktor, yaitu terlihat adanya kecenderungan meningkatnya nilai pori drainase cepat dengan meningkatnya dosis kotoran sapi tetapi menurun dengan meningkatnya dosis limbah yang ditambahkan.

PDC (% volume)



Gambar 7. Hubungan antara Dosis Limbah dengan Nilai Pori Drainase Cepat

PDC (% volume)



Gambar 8. Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Nilai Pori Drainase Cepat

Uji beda nyata terkecil terhadap nilai pori drainase lambat disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Pori Drainase Lambat

Dosis Limbah	Dosis Kotoran Sapi			Rata-rata
	0% (K0)	0.5% (K1)	1% (K2)	
..... % Volume.....				
0% (L0)	2.283	4.710	3.770	3.588
2.5% (L1)	3.660	5.483	6.487	5.210
5% (L2)	4.017	4.413	7.073	5.168
7.5% (L3)	5.587	6.257	7.340	6.394
Rata-rata	3.887	5.216	6.168	

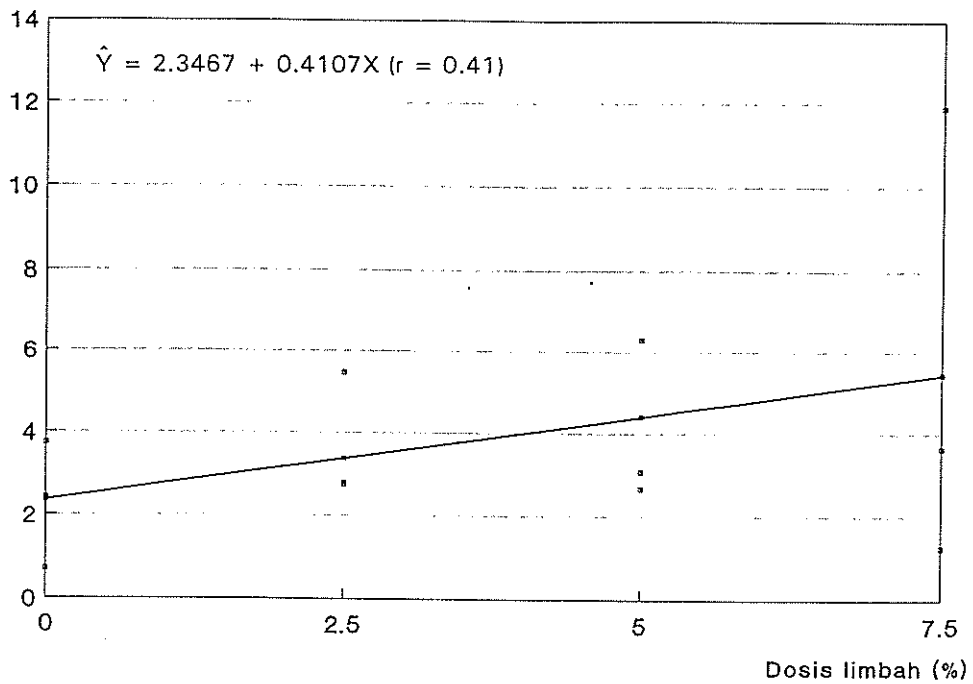
Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom dan baris tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%

Pemberian limbah tidak berpengaruh nyata terhadap nilai pori drainase lambat, tetapi pori drainase lambat cenderung meningkat dengan meningkatnya dosis limbah. Peningkatan tersebut diduga karena bahan organik dari limbah berperan dalam pengikatan zarah-zarah tanah yang menyebabkan terbentuknya ruangan di antara zarah-zarah tanah. Sehingga dengan kondisi yang demikian jumlah pori drainase lambat menjadi meningkat.

Kotoran sapi juga tidak berpengaruh nyata terhadap nilai pori drainase lambat, walaupun pori drainase lambat cenderung meningkat dengan meningkatnya dosis kotoran sapi yang diberikan. Kotoran sapi cenderung meningkatkan nilai PDL dengan mekanisme yang sama pada mekanisme limbah.

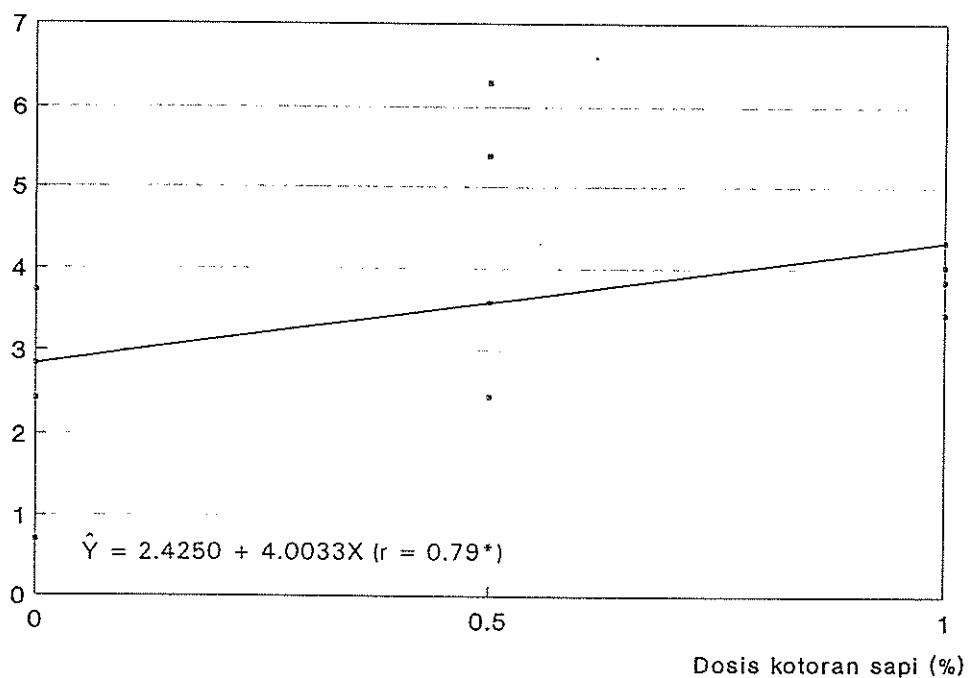
Pengaruh limbah dan kotoran sapi terhadap nilai pori drainase lambat diilustrasikan pada Gambar 9 dan Gambar 10.

PDL (% volume)



Gambar 9. Hubungan antara Dosis Limbah dengan Nilai Pori Drainase Lambat

PDL (% volume)



Gambar 10. Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Nilai Pori Drainase Lambat

Interaksi limbah dan kotoran sapi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai pori drainase lambat. Walaupun demikian terdapat kecenderungan bahwa dengan semakin bertambahnya dosis limbah dan kotoran sapi nilai pori drainase lambat cenderung meningkat, melalui pengaruh bahan organik dalam pengikatan zarah-zarah tanah.

Pori drainase cepat tanah Regosol dari Sindangbarang setelah perlakuan, termasuk ke dalam kelas sedang sampai tinggi, sedangkan pori drainase lambat termasuk ke dalam kelas sangat rendah sampai rendah, menurut kriteria yang diberikan oleh Stallings (1959) (Tabel 6). Hal ini dikarenakan tanah Regosol termasuk ke dalam tanah bertekstur kasar (berpasir) yang partikel-partikelnya berukuran besar. Selain itu pengayakan tanah sebelum perlakuan dapat membuat agregat menjadi terganggu, sehingga menyebabkan pori drainase cepat menjadi relatif tinggi dan pori drainase lambat cenderung rendah.

Tabel 6. Kriteria Pori Drainase Cepat atau Pori Drainase Lambat (Stallings, 1959 dalam Soeparto, 1982)

Kelas	Pori Drainase Cepat/Lambat
Sangat rendah	< 5
Rendah	5 - 10
Sedang	10 - 15
Tinggi	> 15

Air Tersedia

Air tersedia merupakan air yang terdapat di antara kapasitas lapang dan titik layu permanen. Air tersedia ini merupakan air yang dapat diserap oleh tanaman, yang terdapat di dalam pori mikro. Pori mikro merupakan tempat

penyediaan air bagi tanaman. Pori mikro berfungsi menghambat pergerakan udara dan air dalam tanah, sehingga pori mikro disebut juga pori pemegang air.

Hasil penetapan air tersedia setelah diberi limbah dan kotoran sapi disajikan pada Tabel Lampiran 15. Analisis ragam disajikan pada Tabel Lampiran 10.

Uji beda nyata terkecil terhadap air tersedia dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Nilai Rataan Air Tersedia

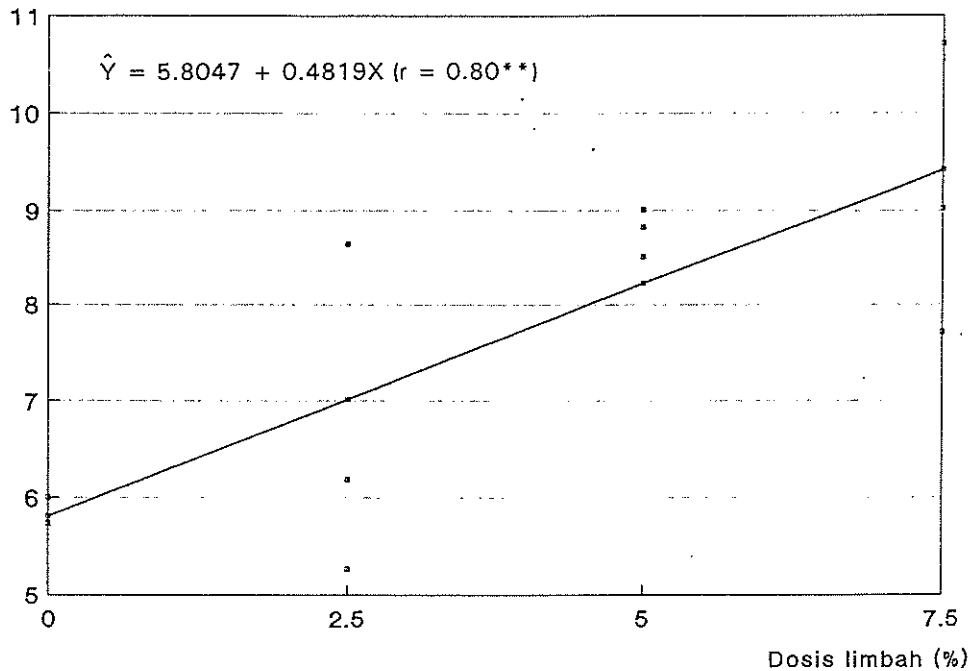
Dosis Limbah	Dosis Kotoran Sapi			Rata-rata
	0% (K0)	0.5% (K1)	1% (K2)	
	% Volume.....			
0% (L0)	5.83	6.01	6.29	6.04 a
2.5% (L1)	6.70	7.67	8.50	7.63 b
5% (L2)	8.78	9.18	9.85	9.27 c
7.5% (L3)	9.15	10.66	10.40	10.07 c
Rata-rata	7.61	8.38	8.76	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom dan baris tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%

Limbah yang diberikan berpengaruh nyata meningkatkan nilai air tersedia pada dosis 2.5%, 5% dan 7.5%. Air tersedia meningkat karena sifat hidrofilik dari limbah yang meningkatkan kemampuan memegang air. Kotoran sapi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai air tersedia, tetapi nilai air tersedia cenderung meningkat dengan meningkatnya dosis kotoran sapi, dengan mekanisme yang sama pada mekanisme limbah.

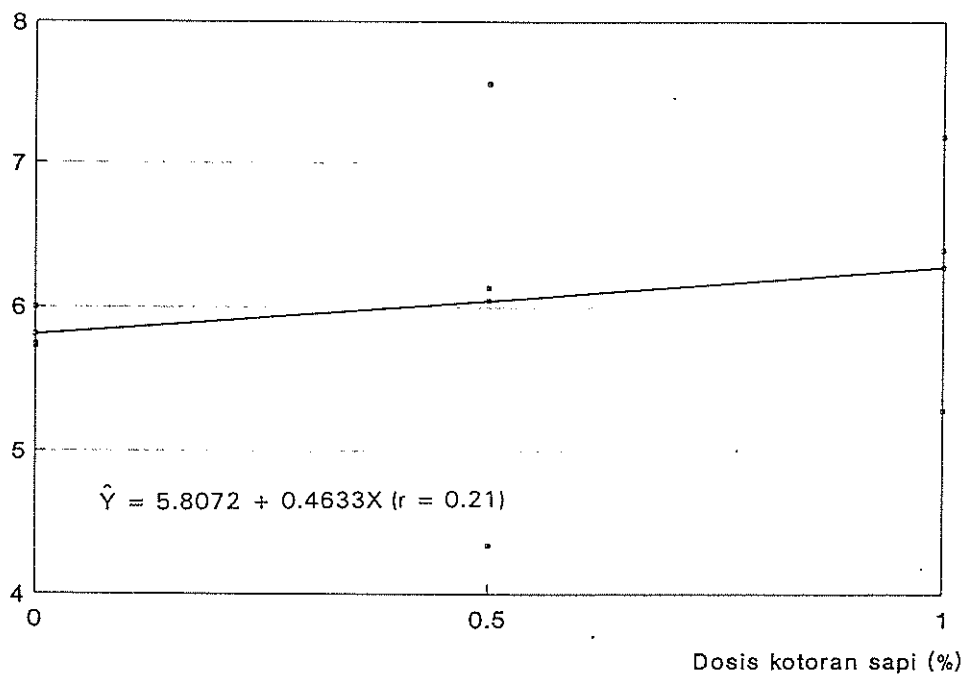
Pengaruh limbah dan kotoran sapi terhadap nilai air tersedia disajikan pada Gambar 11 dan Gambar 12.

AT (% volume)



Gambar 11. Hubungan antara Dosis Limbah dengan Nilai Air Tersedia

AT (% volume)



Gambar 12. Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Nilai Air Tersedia

Interaksi limbah dan kotoran sapi tidak berpengaruh nyata terhadap peningkatan air tersedia, walaupun air tersedia cenderung meningkat dengan meningkatnya dosis limbah dan kotoran sapi. Hal ini akibat peran dari bahan organik dari limbah dan kotoran sapi dalam meningkatkan air tersedia dengan cara meningkatkan kapasitas memegang air.

Air tersedia pada tanah yang diberi perlakuan termasuk dalam kelas rendah, kecuali pada perlakuan interaksi limbah dengan dosis 7.5 % dengan dosis kotoran sapi 0.5% dan 1 % (L3K1 dan L3K2) termasuk kelas sedang, menurut kriteria air tersedia Stallings (1959) dalam Soeparto (1982), pada Tabel 8.

Tabel 8. Kriteria Air Tersedia Menurut Stallings (1959) dalam Soeparto (1982)

Kelas	Air Tersedia (% Volume)
Sangat rendah	< 5
Rendah	5 - 10
Sedang	10 - 15
Tinggi	15 - 20
Sangat Tinggi	> 20

Salah satu faktor yang mempengaruhi air tersedia adalah tekstur. Musgrave dan Holtan (1964) menyatakan bahwa tekstur merupakan ciri khas tanah yang tidak mudah berubah walaupun proses yang berlangsung dalam tanah sangat aktif, sehingga dianggap sebagai ciri dasar tanah. Tanah yang digunakan, setelah diberi perlakuan limbah dan kotoran sapi menurut kriteria masih termasuk ke dalam kelas rendah - sedang. Hal ini disebabkan karena tanah yang digunakan teksturnya adalah berpasir yang mempunyai kemampuan menahan air yang rendah. Oleh sebab itu walaupun diberi perlakuan bahan organik, air tersedianya masih termasuk kelas rendah - sedang.

Pertumbuhan dan Produksi

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman sangat ditentukan oleh jumlah unsur-unsur hara yang terdapat dalam tanah. Unsur hara makro diperlukan tanaman dalam jumlah banyak, sedang unsur hara mikro diperlukan dalam jumlah sedikit. Kandungan unsur mikro tanah dalam jumlah banyak akan menghambat pertumbuhan tanaman karena bersifat racun.

Tinggi dan jumlah daun merupakan indikator pertumbuhan tanaman. Pada tanaman kangkung tinggi tanaman dan jumlah daun dapat mempengaruhi produksinya.

Hasil pengukuran tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah dan bobot kering pada berbagai minggu setelah tanam disajikan berturut-turut pada Tabel Lampiran 16 sampai Tabel Lampiran 25. Daftar sidik ragamnya disajikan pada Tabel Lampiran 11, Tabel Lampiran 12, Tabel Lampiran 13 dan Tabel Lampiran 14.

Uji beda nyata terkecil terhadap tinggi tanaman pada saat panen (minggu kelima setelah tanam), disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Tinggi Tanaman Umur 5 MST

Dosis Limbah	Dosis Kotoran Sapi				Rata-rata
	0% (K0)	0.5% (K1)	1% (K2)		
	cm.....				
0% (L0)	11.37 bc	13.48 bcd	14.74 cd		13.20 b
2.5% (L1)	13.21 bcd	14.86 cd	15.64 cd		14.57 c
5% (L2)	13.27 bcd	15.78 d	14.53 cd		14.52 c
7.5% (L3)	6.43 a	9.42 ab	14.05 cd		9.96 a
Rata-rata	11.07 a	13.38 b	14.74 c		

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom dan baris tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%

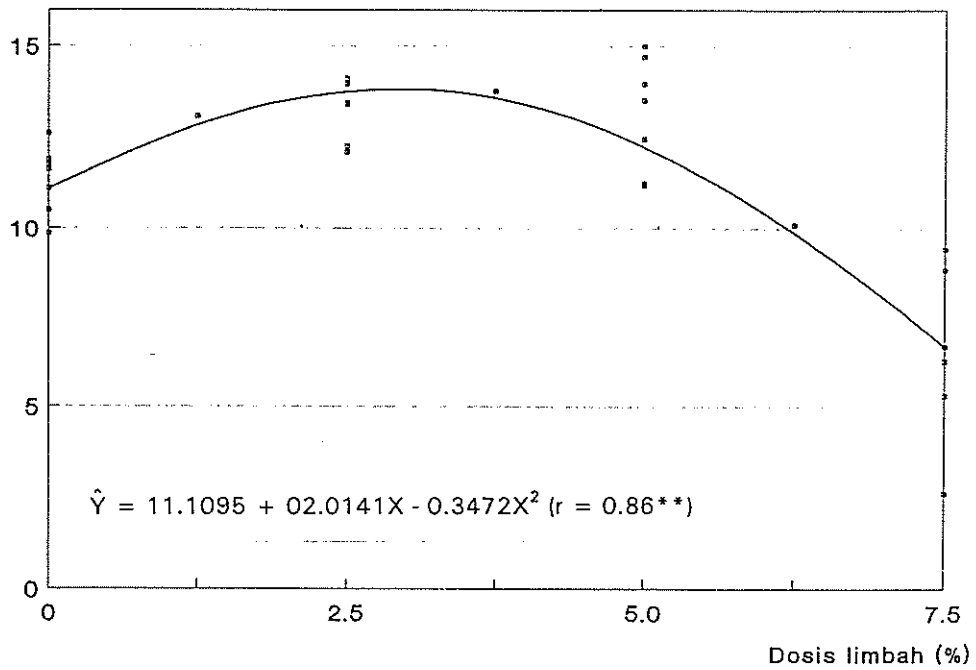
Limbah berpengaruh nyata meningkatkan tinggi tanaman pada dosis 2.5 % dan 5 %, tetapi nyata menurunkan tinggi pada dosis 7.5 %. Peningkatan tinggi tanaman mencapai maksimum pada dosis 2.5 %, dan pada dosis yang lebih banyak tinggi tanaman menjadi menurun. Pada dosis 2.5 %, limbah memberikan pengaruh positif terhadap tinggi tanaman melalui sumbangan unsur hara dan kemampuan memegang air yang relatif baik. Pada dosis yang lebih tinggi, limbah mulai berpengaruh buruk terhadap pertumbuhan, karena unsur Cu yang terserap konsentrasinya di atas kisaran yang umum terdapat pada tanaman (Tabel 12). Konsentrasi Cu yang tinggi pada tanaman akan menghambat transpor elektron fotosintesis pada kloroplas sehingga menekan proses fotosintesis. Keadaan tersebut menjadi faktor penghambat pertumbuhan tanaman kangkung.

Konsentrasi Cr yang terserap tanaman juga berada di atas kisaran yang umum terdapat pada tanaman (Tabel 12), tetapi konsentrasi Cr yang relatif tinggi ini pada tanaman tidak berpengaruh buruk terhadap pertumbuhan. Menurut Marks *et al.* (1980) dalam Webber (1981), tidak ada efek keracunan pada tanaman dengan penggunaan limbah dengan konsentrasi Cr yang tinggi. Sedangkan konsentrasi Pb dan Cd yang diserap oleh tanaman, lebih rendah dari kisaran yang umum pada tanaman (Tabel 12) sehingga relatif tidak berpengaruh buruk terhadap tanaman.

Kotoran sapi berpengaruh nyata meningkatkan tinggi tanaman pada dosis 0.5 % dan 1 % melalui sumbangan unsur hara dan kemampuan memegang air serta perkembangan akar tanaman yang baik karena bahan organik pada kotoran sapi memberikan lingkungan pertumbuhan yang baik bagi perakaran.

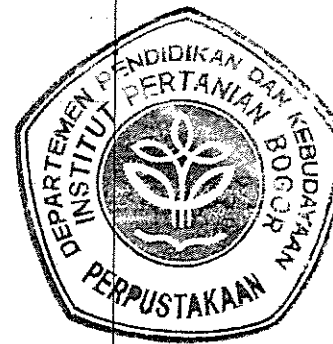
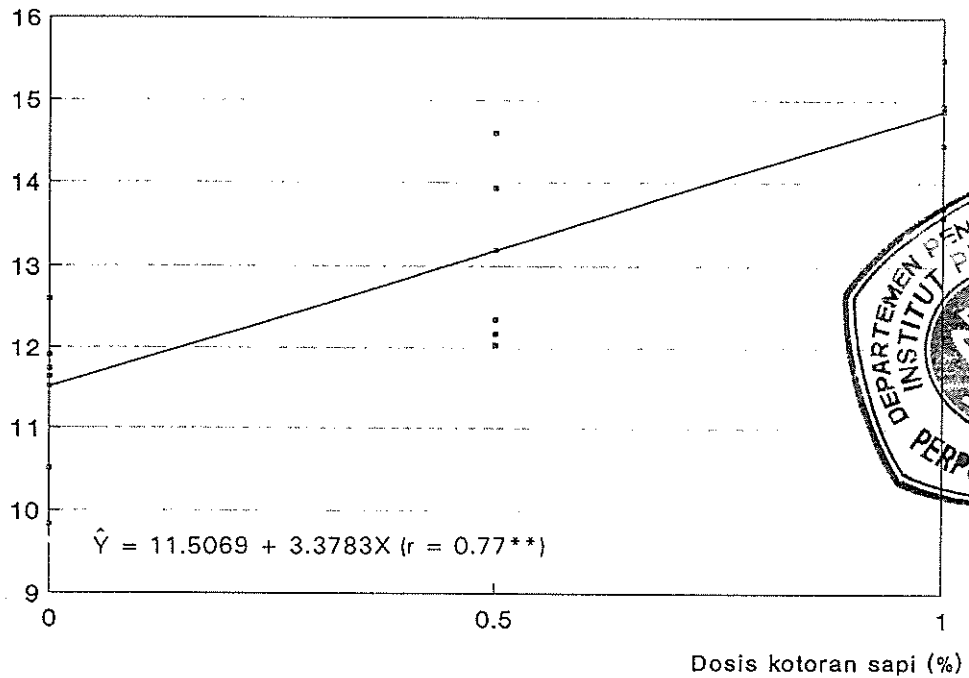
Pengaruh limbah dan kotoran sapi terhadap tinggi tanaman diilustrasikan pada Gambar 13 dan Gambar 14.

Tinggi (cm)



Gambar 13. Hubungan antara Dosis Limbah dengan Tinggi Tanaman Umur 5 MST

Tinggi (cm)



Gambar 14. Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Tinggi Tanaman Umur 5 MST

Interaksi limbah dan kotoran sapi berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, yaitu nyata meningkatkan pada perlakuan L2K1 dan nyata menurunkan pada perlakuan L3K0. Secara umum semua interaksi perlakuan lebih tinggi dibanding kontrol, kecuali pada perlakuan L3K0 dan L3K1.

Interaksi pemberian limbah dan kotoran sapi meningkatkan tinggi tanaman melalui sumbangan unsur hara yang dikandung karena tanah yang digunakan (Regosol) termasuk ke dalam tanah yang relatif miskin kandungan unsur haranya. Selain itu juga disebabkan bahan organik mempunyai kemampuan memegang air yang relatif tinggi, sehingga kebutuhan air tanaman relatif tercukupi. Menurut Stevenson (1982) bahan organik dapat meningkatkan kapasitas memegang air dari butiran tanah yang menyebabkan bertambahnya air tersedia bagi tanaman, terutama pada tanah-tanah berpasir. Pada L3K0 dan L3K1 tinggi tanaman nyata menurun dibanding kontrol. Hal ini disebabkan unsur Cu yang relatif tinggi menghambat pertumbuhan tanaman.

Pada perlakuan L3K0 dan L3K1 tinggi tanaman lebih rendah dibandingkan kontrol. Keadaan ini diduga karena pada perlakuan tersebut, unsur mikro (logam berat) yang terkandung pada limbah membuat kandungan logam Cu pada tanah relatif tinggi, sehingga menghambat pertumbuhan tanaman. Kotoran sapi pada dosis 0.5% belum mampu menetralkan sifat toksik dari logam berat, melalui mekanisme pembentukan kelat dengan bahan organik.

Tabel 10 menyajikan hasil uji beda nyata terkecil terhadap jumlah daun tanaman.

Pemberian limbah berpengaruh nyata terhadap jumlah daun. Jumlah daun nyata menurun pada dosis limbah 7.5%. Pada dosis 2.5%, limbah masih berpengaruh baik terhadap jumlah daun melalui sumbangan unsur hara, tetapi dengan dosis

yang lebih tinggi, jumlah daun menjadi lebih sedikit karena Cu yang relatif tinggi kandungannya dalam tanaman mulai menghambat.

Tabel 10. Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Jumlah Daun Umur 5 MST

Dosis Limbah	Dosis Kotoran Sapi			Rata-rata
	0% (K0)	0.5% (K1)	1% (K2)	
	helai.....			
0% (L0)	9.32	10.47	11.40	10.40 bc
2.5% (L1)	9.96	10.99	11.45	10.80 c
5% (L2)	9.50	10.28	9.98	9.92 b
7.5% (L3)	7.03	8.64	9.93	8.53 a
Rata-rata	8.95 a	10.09 b	10.69 c	

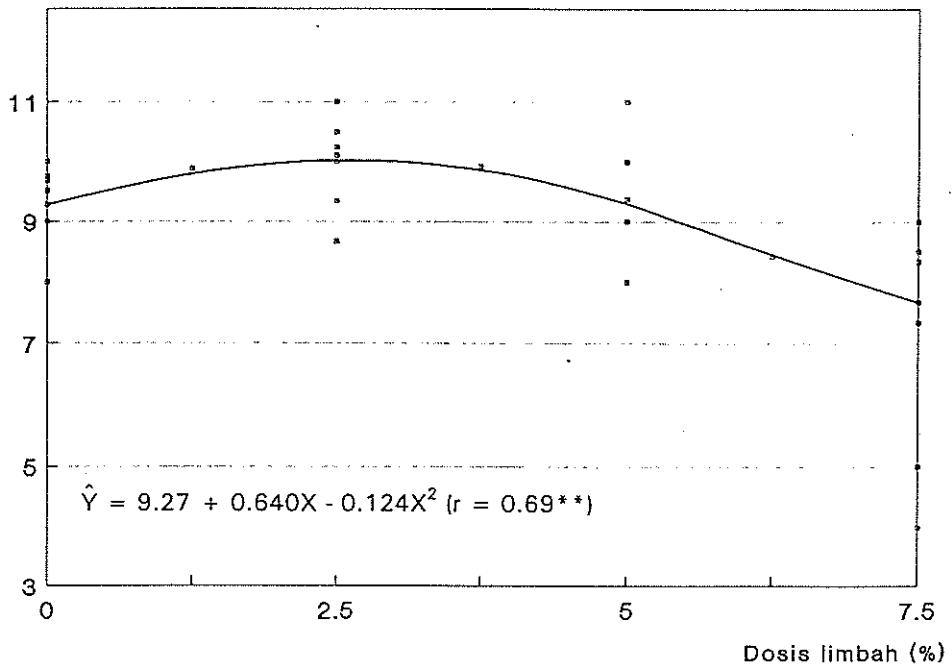
Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom dan baris tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%

Kotoran sapi berpengaruh nyata meningkatkan jumlah daun pada dosis 0.5% dan 1%, melalui sumbangan unsur haranya dan juga kemampuan memegang air, serta kemampuan mengkelat logam berat yang ada. Selain itu bahan organik merangsang granulasi sehingga menghasilkan lingkungan yang baik bagi pertumbuhan perakaran tanaman. Keadaan tersebut menyebabkan akar tanaman dapat menjangkau tempat-tempat yang relatif jauh.

Pengaruh perlakuan limbah dan kotoran sapi terhadap jumlah daun, diilustrasikan pada Gambar 15 dan 16.

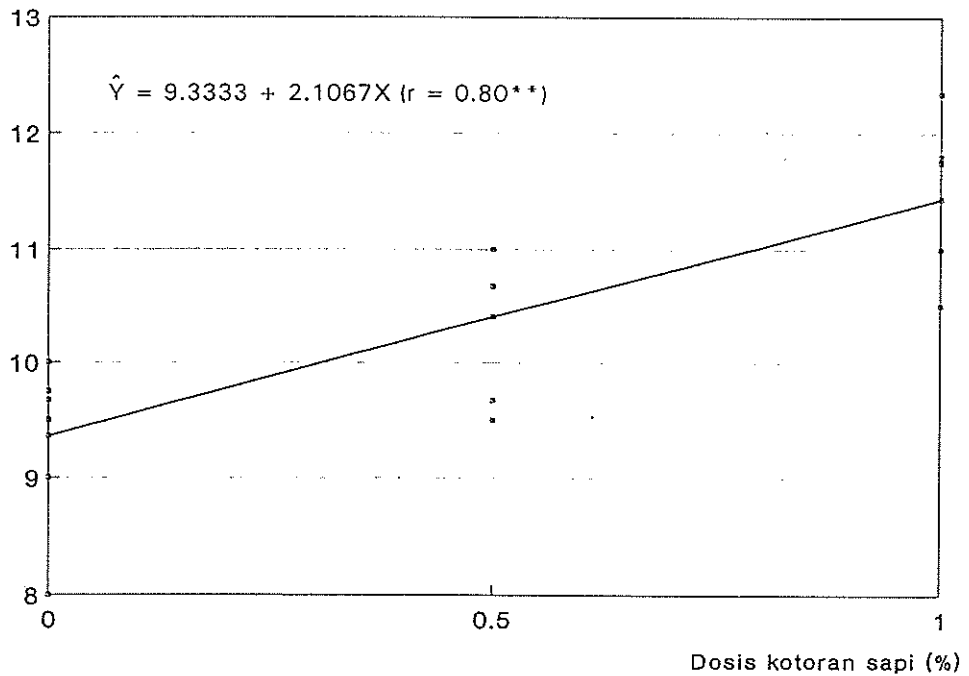
Interaksi perlakuan limbah dan kotoran sapi tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun. Walaupun demikian secara umum jumlah daun cenderung menurun dengan meningkatnya dosis limbah, tetapi cenderung meningkat dengan meningkatnya dosis kotoran sapi. Menurunnya jumlah daun dengan meningkatnya

Daun (helai)



Gambar 15. Hubungan antara Dosis Limbah dengan Jumlah Daun Umur 5 MST

Daun (helai)



Gambar 16. Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Jumlah Daun Umur 5 MST

dosis limbah diakibatkan oleh pengaruh buruk logam berat Cu yang menghambat pertumbuhan tanaman dimana pada dosis yang relatif tinggi Cu tidak dapat dinetralkan oleh bahan organik yang terdapat pada limbah dan kotoran sapi. Seiring dengan penambahan kotoran sapi, maka bahan organik dari kotoran sapi relatif dapat mengurangi pengaruh buruk unsur Cu yang menghambat proses fotosintesis.

Hasil uji beda nyata terkecil terhadap bobot basah tanaman umur 5 MST ditampilkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Bobot Basah Tanaman Umur 5 MST

Dosis Limbah	Dosis Kotoran Sapi			Rata-rata	
	0% (K0)	0.5% (K1)	1% (K2)		
	g/tanaman.....				
0% (L0)	1.31	1.86	2.36	1.84	b
2.5% (L1)	1.33	1.73	2.28	1.79	b
5% (L2)	1.13	1.85	2.08	1.68	b
7.5% (L3)	0.42	0.65	1.60	0.89	a
Rata-rata	1.06 a	1.52 b	2.08 c		

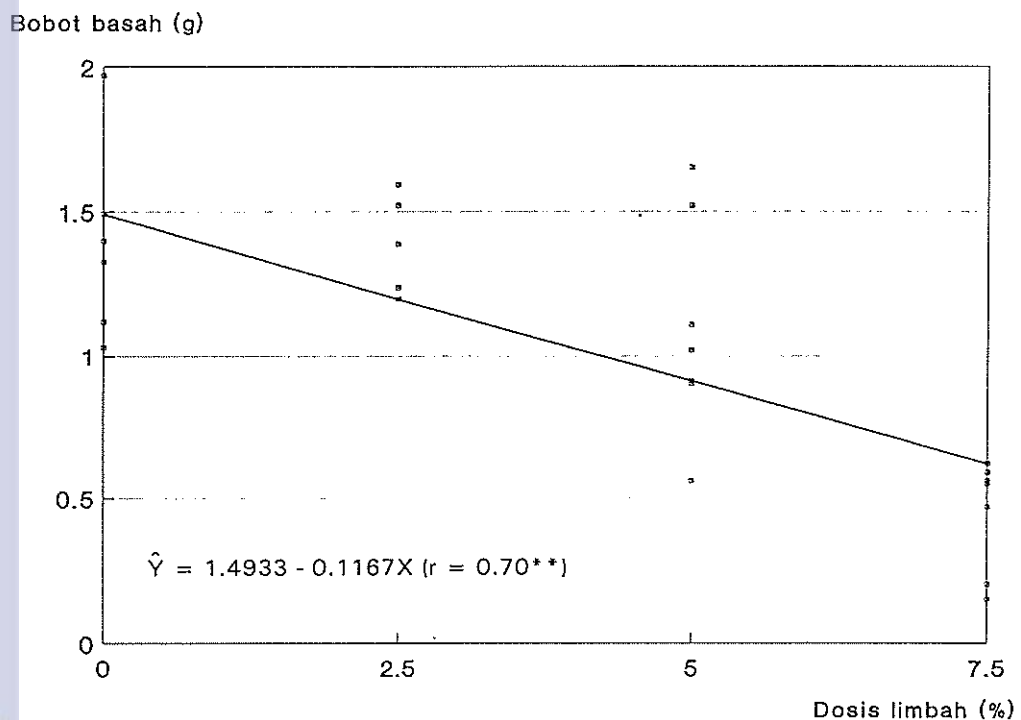
Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom dan baris tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%

Limbah berpengaruh nyata menurunkan bobot basah tanaman pada dosis 7.5%. Pola yang terlihat dengan semakin bertambahnya dosis limbah, bobot basah tanaman semakin menurun. Penyebab dari keadaan ini diduga karena unsur Cu dari limbah yang terserap tanaman menghambat proses fotosintesis melalui mekanisme penghambatan transpor elektron fotosintesis pada kloroplas, sehingga dengan semakin bertambahnya dosis limbah, pertumbuhan semakin terhambat sehingga bobot basah menjadi menurun.

Kotoran sapi berpengaruh nyata dalam meningkatkan bobot basah tanaman, karena menyumbangkan unsur-unsur hara N, P dan K, yang dapat mendukung pertumbuhan tanaman. Walaupun sumbangan unsurnya relatif kecil, tetapi karena tidak ada efek buruk dari logam berat yang dikandung, sumbangan unsur yang relatif sedikit masih berpengaruh baik terhadap pertumbuhan tanaman kangkung.

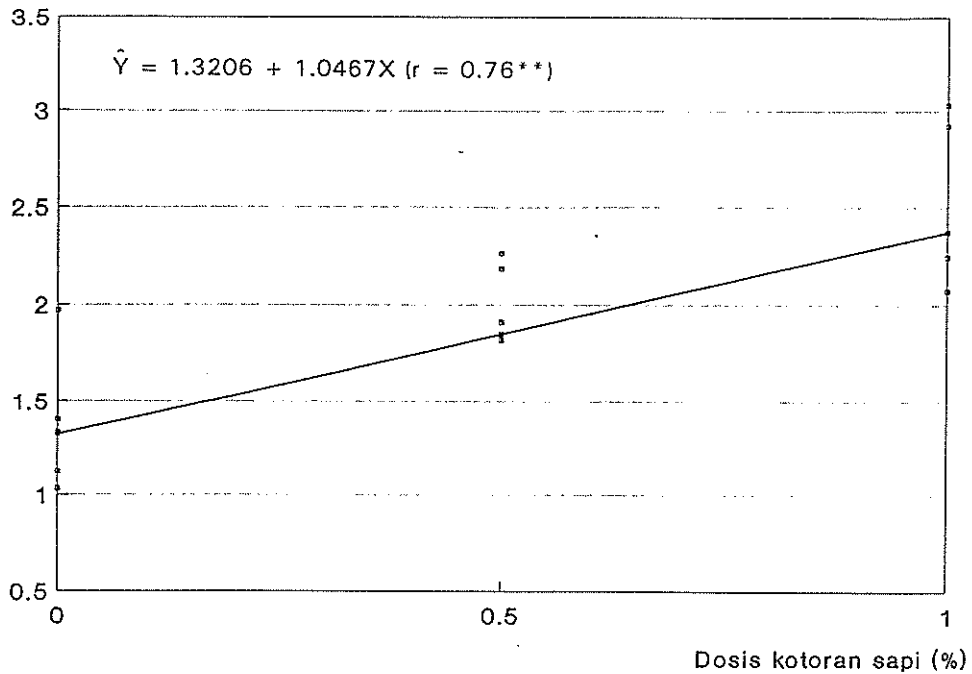
Pengaruh limbah dan kotoran sapi terhadap bobot basah tanaman, diilustrasikan pada Gambar 17 dan Gambar 18.

Interaksi limbah dan kotoran sapi tidak berpengaruh nyata terhadap bobot basah tanaman. Secara umum bobot basah lebih tinggi dibanding kontrol, kecuali pada perlakuan L2K0, L3K0, dan L3K1. Pola yang terlihat pada interaksi perlakuan, peningkatan limbah cenderung menurunkan nilai bobot basah sedangkan peningkatan kotoran sapi cenderung meningkatkan bobot basah tanaman.



Gambar 17. Hubungan antara Dosis Limbah dengan Bobot Basah Tanaman Umur 5 MST

Bobot basah (g)



Gambar 18. Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Bobot Basah Tanaman Umur 5 MST

Hasil uji beda nyata terkecil terhadap bobot kering tanaman, ditampilkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Bobot Kering Tanaman Setelah Panen

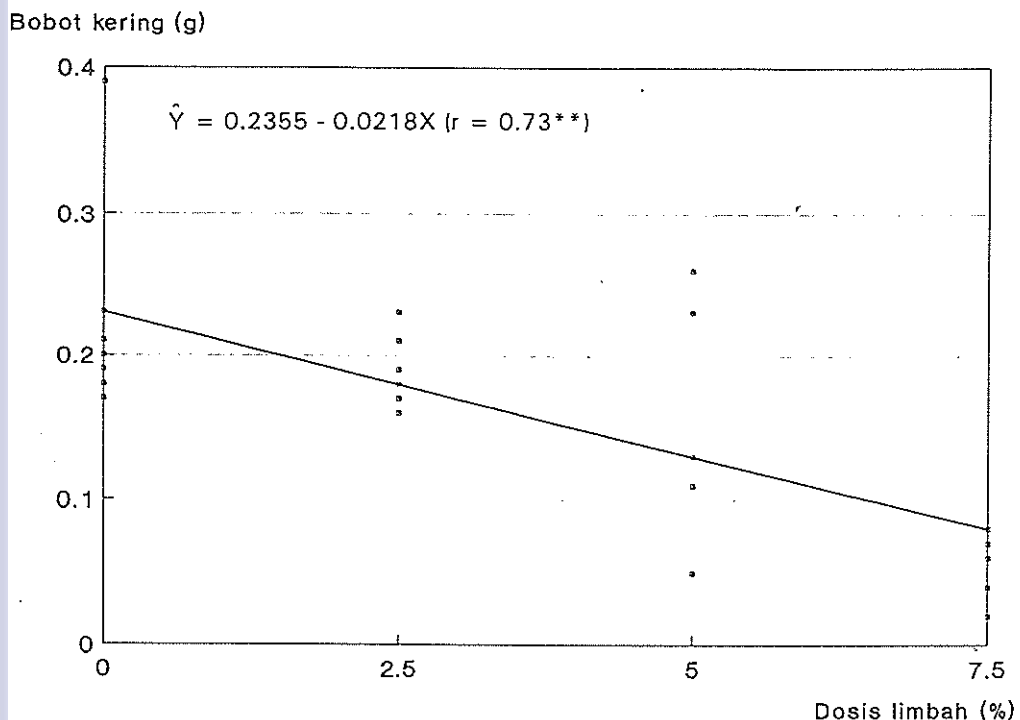
Dosis Limbah	Dosis Kotoran Sapi			Rata-rata	
	0% (K0)	0.5% (K1)	1% (K2)		
	g/tanaman.....				
0% (L0)	0.22	0.32	0.44	0.33	b
2.5% (L1)	0.19	0.23	0.44	0.29	b
5% (L2)	0.15	0.29	0.42	0.28	b
7.5% (L3)	0.06	0.12	0.28	0.15	a
Rata-rata	0.15 a	0.24 b	0.40 c		

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom dan baris tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%

Limbah berpengaruh menurunkan bobot kering tanaman. Penurunan bobot kering tanaman nyata pada taraf limbah 7.5%. Hal tersebut dikarenakan dengan meningkatnya dosis limbah, ketersediaan logam Cu bagi tanaman semakin meningkat, sehingga menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman melalui mekanisme penghambatan terhadap transpor elektron fotosintesis pada kloroplas, yang menekan proses fotosintesis. Hal tersebut menurunkan produksi tanaman.

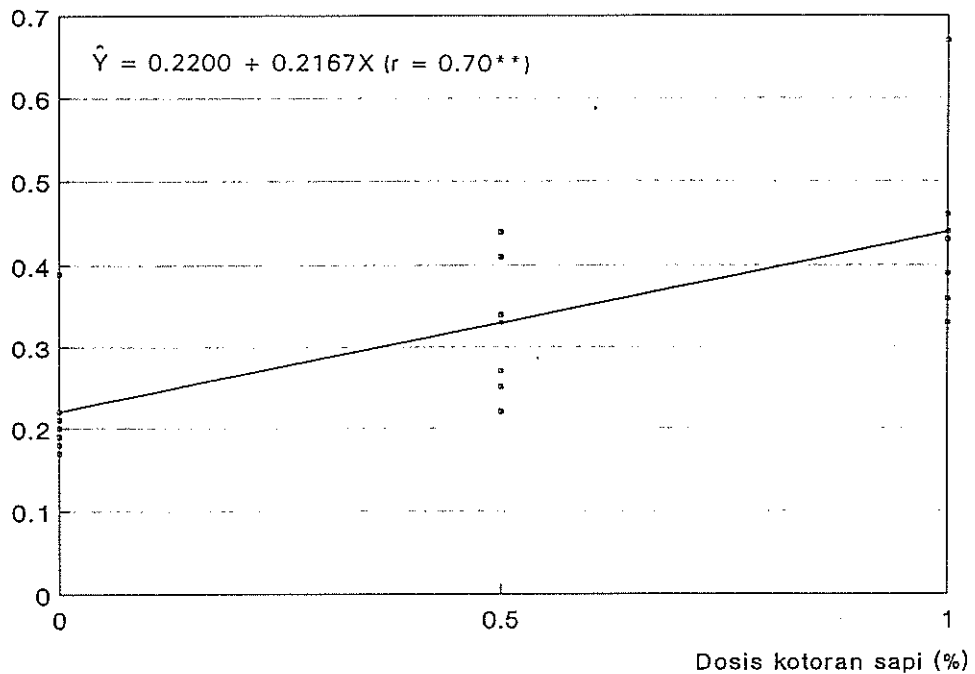
Kotoran sapi meningkatkan bobot kering tanaman secara nyata pada dosis 0.5% dan 1%. Penyebab keadaan ini adalah akibat peran dari bahan organik yang dikandung kotoran sapi dapat memperbaiki lingkungan pertumbuhan bagi perakaran tanaman yang memungkinkan serapan hara tanaman menjadi lebih baik dan juga akibat sumbangan unsur haranya ke tanah.

Pengaruh dosis limbah dan kotoran sapi terhadap bobot kering tanaman, diilustrasikan pada Gambar 19 dan Gambar 20.



Gambar 19. Hubungan antara Dosis Limbah dengan Bobot Kering Tanaman Setelah Panen

Bobot kering (g)



Gambar 20. Hubungan antara Dosis Kotoran Sapi dengan Bobot Kering Tanaman Setelah Panen

Interaksi limbah dan kotoran sapi tidak berpengaruh nyata terhadap bobot kering tanaman, dengan pola interaksi perlakuan sesuai dengan fungsi masing-masing faktor, yaitu bobot kering tanaman menurun dengan bertambahnya limbah dan meningkat dengan bertambahnya kotoran sapi.

Serapan Logam Berat

Serapan logam berat oleh tanaman dipengaruhi oleh pertumbuhan tanaman dan kondisi lingkungan di sekitarnya. Hal ini menyebabkan bervariasinya kandungan logam berat dalam jaringan tanaman. Logam berat yang diserap oleh akar tanaman selanjutnya ditransportasikan ke seluruh bagian tanaman dan terakhir diakumulasi di dalam jaringan tanaman.

Serapan tanaman terhadap logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd), kromium (Cr) dan tembaga (Cu) pada tajuk tanaman disajikan pada Tabel 13, sedangkan serapan logam berat pada akar tanaman disajikan pada Tabel 14.

Tabel 13. Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Serapan Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr) dan Tembaga (Cu) pada Tajuk Tanaman

Dosis Limbah	Dosis Kotoran Sapi			Rata-rata
	0% (K0)	0.5% (K1)	1% (K2)	
.....ppm.....				
Pb				
0% (L0)	6.53	8.12	6.85	7.17
2.5% (L1)	6.21	4.94	5.73	5.63
5% (L2)	6.73	7.64	6.53	6.97
7.5% (L3)	7.37	5.73	6.28	6.46
Rata-rata	6.71	6.61	6.35	
.....ppm.....				
Cd				
0% (L0)	0.73	0.76	1.09	0.86
2.5% (L1)	0.77	0.56	0.89	0.74
5% (L2)	1.06	0.69	0.59	0.78
7.5% (L3)	1.66	0.59	0.67	0.97
Rata-rata	1.06	0.65	0.81	
.....ppm.....				
Cr				
0% (L0)	5.04	4.48	6.82	5.45
2.5% (L1)	8.89	4.45	4.15	5.83
5% (L2)	9.96	8.59	6.22	8.26
7.5% (L3)	10.93	9.45	6.96	9.11
Rata-rata	8.71	6.74	6.04	
.....ppm.....				
Cu				
0% (L0)	15.22	14.35	13.92	14.50
2.5% (L1)	23.52	17.53	16.19	19.08
5% (L2)	27.08	25.41	18.35	23.61
7.5% (L3)	27.87	21.48	24.10	24.48
Rata-rata	23.42	19.69	18.14	

Tabel 14. Pengaruh Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Serapan Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr) dan Tembaga (Cu) pada Akar Tanaman

Dosis Limbah	Dosis Kotoran Sapi			Rata-rata
	0% (K0)	0.5 % (K1)	1 % (K2)	
.....ppm.....				
Pb				
0% (L0)	8.01	7.31	5.82	7.05
2.5 % (L0)	7.78	10.01	9.37	9.05
5% (L2)	10.53	7.21	7.78	8.51
7.5 % (L3)	12.67	10.68	11.18	11.51
Rata-rata	9.75	8.80	8.54	
.....ppm.....				
Cd				
2.5 % (L1)	1.01	0.87	0.81	0.90
5% (L2)	2.46	0.79	0.61	1.29
7.5 % (L3)	2.43	1.05	1.36	1.61
Rata-rata	1.69	0.90	0.86	
.....ppm.....				
Cr				
0% (L0)	20.75	19.86	22.82	21.14
2.5 % (L1)	21.34	22.88	17.19	20.47
5 (%)	23.20	20.11	21.85	21.72
7.5 % (L3)	25.16	21.27	21.04	22.49
Rata-rata	22.61	21.03	20.73	
.....ppm.....				
Cu				
0% (L0)	19.75	20.83	18.88	19.82
2.5 % (L1)	23.85	17.81	18.67	20.11
5% (L2)	29.21	20.07	19.35	22.88
7.5 % (L3)	36.36	21.26	22.55	26.70
Rata-rata	27.29	19.99	19.86	

Secara umum serapan tanaman terhadap logam berat Pb, Cd, Cr dan Cu baik pada tajuk maupun akar tanaman meningkat dengan meningkatnya dosis limbah yang diberikan, walaupun dengan pola yang tidak begitu jelas, tetapi menurun dengan semakin meningkatnya dosis kotoran sapi yang diberikan.

Peningkatan dosis limbah menyebabkan peningkatan jumlah logam berat dalam tanah yang berarti meningkat juga ketersediaannya bagi tanaman. Hal tersebut akan meningkatkan serapan tanaman terhadap logam berat Pb, Cd, Cr dan Cu.

Peningkatan dosis kotoran sapi menyebabkan penurunan serapan logam berat, karena terjadi pembentukan kelat dengan bahan organik. Keadaan ini sesuai dengan pernyataan King (1988) yang menyatakan bahwa logam berat dapat membentuk kelat dengan bahan organik. Logam berat yang terkelat oleh bahan organik menyebabkan unsur tersebut tidak tersedia bagi tanaman.

Kandungan logam berat pada tajuk tanaman secara umum lebih rendah dibanding dengan kandungan logam berat pada akar tanaman. Serapan logam berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada tajuk dan akar tanaman disajikan pada Tabel 15.

Kandungan logam yang relatif lebih tinggi di akar dibandingkan pada tajuk disebabkan karena logam berat merupakan unsur yang mempunyai densitas yang tinggi, sesuai dengan pernyataan dari Jones dan Jarvis (1981) *dalam* Greenland dan Hayes (1981) yang menyatakan bahwa logam berat mempunyai densitas yang lebih besar daripada unsur-unsur yang lain. Densitas yang tinggi ini, dengan didukung oleh adanya gaya gravitasi bumi menyebabkan transportasi logam berat ke tajuk tanaman menjadi relatif sulit atau dengan kata lain mobilitas logam berat menjadi terganggu. Hal tersebut menyebabkan logam berat yang ada relatif lebih banyak diakumulasikan di akar tanaman.

Tabel 15. Serapan Logam Berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada Tajuk dan Akar Tanaman

Perlakuan	Kandungan Pb		Kandungan Cd		Kandungan Cr		Kandungan Cu	
	Tajuk	Akar	Tajuk	Akar	Tajuk	Akar	Tajuk	Akar
	 ppm							
L0K0	6.53	7.78	0.73	0.86	5.04	20.75	15.22	19.75
L0K1	8.12	10.01	0.76	0.89	4.48	19.86	14.35	20.83
L0K2	6.85	9.37	1.09	0.72	6.82	22.82	13.92	18.88
L1K0	6.21	8.01	0.77	1.01	8.89	21.34	23.52	23.85
L1K1	4.94	7.31	0.56	0.87	4.45	22.88	17.53	17.81
L1K2	5.73	5.82	0.89	0.81	4.15	17.19	16.19	18.67
L2K0	6.73	10.53	1.06	2.46	9.96	23.20	27.08	29.21
L2K1	7.64	7.21	0.69	0.79	8.59	20.11	25.41	20.07
L2K2	6.53	7.78	0.59	0.61	6.22	21.85	18.35	19.35
L3K0	7.37	12.67	1.66	2.43	10.93	25.16	27.87	36.36
L3K1	5.73	10.68	0.59	1.05	9.45	21.27	21.48	21.26
L3K2	6.28	11.18	0.67	1.36	6.96	21.04	24.10	22.55

Kandungan Pb dan Cd pada tajuk tanaman, masih berada pada kisaran yang umum terdapat di dalam tanaman menurut Allaway (1968) seperti yang disajikan pada Tabel 16. Sedangkan Cr dan Cu berada di atas kandungan umum yang terdapat pada tanaman.

Tabel 16. Konsentrasi Logam-logam Berat ($\mu\text{g/g}$ berat kering) dalam Litosfer (Goldschmidt, 1958), Tanah (Bowen, 1966) dan Tanaman (Allaway, 1968) dalam Greenland dan Hayes (1981)

Logam	Litosfer	Tanah		Tanaman
		Rata-rata	Kisaran	
Cu	70	20	2 - 100	4 - 15
Cr	200	100	5 - 3000	0.2 - 1.0
Cd	0.2	0.06	0.01 - 0.7	0.2 - 0.8
Pb	16	10	2 - 200	0.1 - 10
Co	40	8	1 - 40	0.05 - 0.5
Fe	50000	38000	7000 - 550000	140
Hg	0.5	0.03	0.01 - 0.3	0.0150
Mn	1000	8500	100 - 4000	15 - 100
Mo	2.3	2	0.2 - 5	1 - 10
Ni	100	40	10 - 1000	1
Sn	40	10	2 - 200	0.3
Zn	80	50	10 - 300	8 - 100

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil-hasil penelitian yang diperoleh, dapat ditarik kesimpulan bahwa limbah berpengaruh nyata meningkatkan ruang pori total dan air tersedia, dan berpengaruh nyata menurunkan bobot isi, pori drainase sangat cepat, serta tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah dan bobot kering tanaman umur 5 MST. Kotoran sapi berpengaruh nyata meningkatkan ruang pori total, tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah dan bobot kering tanaman umur 5 MST. Selain itu kotoran sapi berpengaruh nyata menurunkan bobot isi dan pori drainase sangat cepat.

Interaksi limbah dan kotoran sapi berpengaruh nyata menurunkan bobot isi tanah pada perlakuan L2K2 dan L3K2, meningkatkan ruang pori total pada perlakuan L2K2 dan L3K2, meningkatkan tinggi tanaman umur 5 MST pada perlakuan L2K1 dan menurunkan tinggi tanaman umur 5 MST pada perlakuan L3K0.

Serapan tajuk tanaman terhadap logam berat timbal dan kadmium masih berada pada kisaran yang biasa terdapat pada tanaman. Kandungan kromium dan tembaga pada tajuk berada di atas nilai kisaran yang umum terdapat pada tanaman.

Untuk keseluruhan, interaksi perlakuan limbah dengan dosis 2.5 % dengan dosis kotoran sapi 1 % (L1K2) masih memungkinkan untuk digunakan, karena menghasilkan produksi yang relatif masih tinggi.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pemberian limbah bir dan kotoran sapi ke tanah, agar dapat direkomendasikan dan diaplikasikan di lapangan sehingga dapat sedikit membantu memecahkan masalah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allaway, W. H. 1968. Agronomic controls over the environmental cycling of trace element, pp. 235-274. In A. G. Norman (ed.) *Advances in Agronomy* Vol. 20. Academic Press, New York - San Fransisco - London.
- Anonymous. 1976. Making Aquatic Wead Useful: Some Perspective for Developing Countries. National Academic of Science, Washington D. C.
- Anonymous. 1977. Pedoman bercocok tanam padi, palawija dan sayur-sayuran. Badan Pengendalian Bimas. Departemen Pertanian, Jakarta.
- Anonymous. 1979. Penelitian kriteria kualitas lingkungan hidup kota Surabaya. Team Kualitas Air Pusat Studi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan, IPB bekerjasama dengan Proyek Pengelolaan Sumber-sumber Alam dan Lingkungan Hidup. Panitia Perumus dan Rencana Kerja bagi Pemerintah di Bidang Pengembangan Lingkungan Hidup.
- Anonymous. 1981. Laporan toksikologi lingkungan. Proyek Penelitian Pengembangan Sumberdaya Air dan Pencemaran Air Tawar Tahun 1980/1981. Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup dan Lembaga Ekologi Universitas Padjajaran, Bandung.
- Atmosentono, H. 1968. Tanah Sekitar Bogor. Lembaga Penelitian Tanah. Direktorat Jendral Pertanian, Bogor.
- Aubert, H. and H. Pinta. 1977. Trace Elements in Soils. Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Backer, C. A. and Bakhuizen van den Brink, 1965. Flora of Java Vol. II. N.V.P. Noodgoff Groningen The Netherlands.
- Bardach, J. E., J. H. Ryther and W. O. Mac Larney. 1973. Aquaculture: The Farming and Husbandary of Freshwater and Marine Organism. Wiley Interscience, New York.
- Baver, L. D. 1961. Soil Physics. 3rd ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- , W. H. Gardner, and W. R. Gadner. 1978. Soil Physic. 4th ed. Wiley Eastern Ltd., New Delhi - Bangalor - Bombay.
- Bolt, G. H., and M. G. M. Bruggenwert. 1981. Soil Chemistry; A Basic Elements. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.
- Bowen, H. J. H. 1966. Trace Elements in Biochemistry. Academic Press., New York.
- Buckman, H. O., and N. C. Brady. 1972 The Nature and Properties of Soils. 7th ed. The Mac Millan Co., New York.

- Buringh, P. 1970. Introduction to The Study of Soils in Tropical and Subtropical Regions. 2nd ed. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen, Netherlands.
- Burkill, I. H. 1966. A Dictionary of The Economic Products of The Malay Peninsula Vol. II. Government of Malaysia and Singapore by Min. Agric. Co., Kuala Lumpur.
- Davies, E. B. 1980. Applied Soil Trace Elements. John Willey and Sons., Chichester - New York - Brisbane.
- Donahue, R. L., R. H. Follet and R. W. Tulloch. 1976. Our Soil and Their Management Increasing Production Through Enviromental Soils and Water Conservation. The Interstate, Danville, Illinois.
- Dudal and M. Soepraptohardjo. 1957. Soil Classification in Indonesia. Pemberitaan Balai Besar Penyuluhan Pertanian. No. 148, Bogor.
- Faust, S. D. and O. M. Aly. 1981. Chemistry of Natural Water. Ann Asbor Science Publisher, Inc., New York.
- Foth. H. D. 1978. Fundamentals of Soil Science. 6th ed. John Wiley and Sons, Inc., New York - Chichester - Brisbane - Toronto.
- Greenland, D. J. and M. H. B. Hayes, 1981. The Chemistry of Soil Processes. John Wiley and Sons., New York.
- Hakim, N., M. Y. Nyakpa, A. M. Lubis, S. G. Nugroho, M. R. Saul, M. A. Diha, Go Ban Hong dan H. H. Bailey. 1986. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Univ. Lampung, Lampung.
- Hambali, G. G. 1981. Segi-segi biologi kangkung. Makalah dalam Kongres Hortikultura Nasional I. Malang, 28 - 30 Desember 1981. LBN-LIPI, Bogor.
- Hamzah, Z. 1975. Ilmu Tanah Hutan. Proyek Peningkatan/Pengembangan Perguruan Tinggi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Hardjowigeno, S. 1982. Klasifikasi Tanah. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Herklots, G. A. C. 1972. Vegetable in South East Asia. Hafner Press, New York.
- Hillel, D. 1972. Soil and Water Physical Principles and Processes. Academic Press, New York.
- 1980. Application of Soil Physics. Academic Press, New York.
- Israelsen, O. W. and V. E. Hansen. 1962. Irrigation Principles and Practices. 3rd ed. John Wiley and Sons, Inc, New York - London.
- King, L. D. 1988. Retension of metals by several soils of the southeastern United States. Journal Environmental Quality. 17(2):239-246.

- Kononova, M. M. 1966. Soil Organic Matter. Pergamon Press, London, England.
- Leiwakabessy, F. M. 1986. Kesuburan Tanah. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Lepp, N. W. 1981. Copper, pp. 111-143. *In* Lepp (ed.) Effect of Heavy Metal Pollution on Plants Vol. 1. Applied Science Publisher, London - New York.
- Mahida, U. N. 1986. Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri. CV. Rajawali Press, Jakarta.
- Millar, C. E., L. M. Turk and H. D. Foth. 1958. Fundamentals of Soil Science. 3rd ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Mortvedt, J. J., P. M. Giardano, W. L. Lindsay, 1972. Micronutrient in Agriculture. Soil Sci. Soc. of Amer., Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Musgrave, G. W. and N. Holtan. 1964. Infiltration. pp. 12-2-12. 30. *In* Ven Te Chow (ed.) Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill Book Co., New York.
- Ochse, J. J., M. J. Soule, M. J. Dijkman and C. Wehlburg. 1961. Tropical and Sub Tropical Agriculture. Vol. 1. The Mac Millan Co., New York.
- Ormrod, D. P. 1978. Pollution in Horticulture. Elsevier Scientific Publ. Co., Amsterdam, Oxford, New York.
- Peterson, P. J. and C. A. Girling. 1981. Other trace metals, pp. 213-278. *In* N. W. Lepp (ed.) Effect of Heavy Metal Pollution on Plants Vol. 1. Applied Science Publisher, London - New York.
- Rachman, L. M. 1987. Penerapan sistem budidaya pertanian tanpa olah tanah ditinjau dari berbagai sifat fisik tanah. Makalah Seminar Budidaya Pertanian Tanpa Olah Tanah. Bogor. Tidak Dipublikasikan.
- Sabiham, S., G. Soepardi dan S. Djokosudardjo. 1982. Pupuk dan Pemupukan. Departemen Ilmu-ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Satphathy, B. 1964. Kalami Sag (*Ipomoea reptans* Poir); A New Addition to Our Greens, Indian Farming.
- Sitorus, S. R. P., O. Haridjaja dan K. R. Brata. 1986. Penuntun Praktikum Fisika Tanah. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Soeparto. 1982. Sifat-sifat dan Klasifikasi Beberapa Tanah Latosol Daerah Bogor-Jakarta. Skripsi. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor.

- Soepraptohardjo, M. 1975. Jenis-jenis Tanah di Indonesia. Lembaga Penelitian Tanah, Bogor.
- Sunaryono, H. 1972. Kunci bercocok tanam sayur-sayuran penting di Indonesia. Lembaga Penelitian Hortikultura Pasar Minggu, Jakarta.
- Suratno, W. 1984. Beberapa Kemungkinan Penelitian Lanjutan Tentang Pencemaran Logam Berat Raksa (Hg), Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) di Perairan Jakarta-Bogor-Tangerang-Bekasi (Jabotabek). Suatu Studi Literatur. Bandung.
- Suwardjo. 1981. Peranan Sisa-sisa Tanaman dalam Konservasi Tanah dan Air Pada Usaha Tani Semusim. Disertasi Doktor. Fakultas Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Stalling, J. H. 1959. Soil Conservation. Prentice-Hall, Inc., Engelwood Cliffs, New Jersey.
- Stevenson, F. J. 1982. Humus Chemistry; Genesis, Composition, Reaction. John Wiley and Sons, Inc., New York - Chichester - Brisbane - Toronto - Singapore.
- Tan, K. H., 1982. Principles of Soil Chemistry. Marcel Dekker, Inc., Madison Avenue, New York.
- Thompson, L. M. and Troeh. 1975. Soil and Fertility. McGraw-Hill Publ. Company Ltd., New Delhi.
- Thorne, D. W. and M. D. Thorne. 1979. Soil Water and Crop Production. Avi Publ. Co., Inc., Wesport, Connecticut.
- Thornton, I. 1981. Gheochemical aspects of the distribution and form of heavy metals in soil, pp. 1-33. *In* N. W. Lepp (ed.) Effect of Heavy Metal Pollution on Plants Vol. 2. Applied Science Publisher, London - New York.
- Tindall, H. D. 1978. Commercial Vegetable Growing. Oxford University Press.
- Tisdale, S. L. and N. L. Nelson. 1975. Soil Fertility and Fertilizer. 3rd ed. Mac Millan Publishing Company, Inc., New York.
- Townsend, W. N. 1973. An Introduction of Scientific Study on Soil. Oxford and Publ. Co., New Delhi.
- Vepraskas, M. J. and M. G. Waggar. 1990. Cone indeks values diagnostic of where subsoiling can increase corn root growth. Soil Sci. Soc. Am. Journal. 53:1499-1505.
- Webber, J. 1981. Trace Metal in Agriculture, pp. 159-184. *In* N. W. Lepp (ed.) Effect of Heavy Metal Pollution on Plants Vol. 2. Applied Science Publisher, London - New York.
- Yuita, K., M. Nakashimada, A. Hidayat, S. Roechan, and I. Nasution. 1983. Analytical Method for Cadmium (Cd) in Soil and Crops. Joint Research Project ATA 218. Japan - Indonesia.

LAMPIRAN

Tabel Lampiran 1. Hasil Analisis Pendahuluan Kimia Tanah Regosol

Jenis Analisis	Hasil	Metode
pH H ₂ O (1:2.5)	4.50	pH-meter
pH KCl (1:2.5)	4.25	pH-meter
N (%)	0.136	Kjeldahl
P (ppm)	0.427	Bray-2
C-org (%)	1.632	Kurmies
Basa-basa (me/100g)		NH ₄ OAc pH 7.0
K	0.223	
Ca	1.987	
Mg	1.138	
Na	0.199	
KTK (me/100g)	12.541	NH ₄ OAc pH 7.0
KB (me/100g)	28.283	NH ₄ OAc pH 7.0
Al _{dd}	1.219	<u>N</u> KCl
H _{dd}	0.204	<u>N</u> KCl

Tabel Lampiran 2. Hasil Analisis Pendahuluan Sifat Fisik Tanah Regosol

Jenis Analisis	Hasil	Metode
Bobot isi (g/cm^3)	1.37	Black <i>et al.</i>
Permeabilitas (cm/jam)	9.16	De Boodt
Kadar air (% volume)		
pF 1.00	38.75	Pressure plate apparatus
pF 2.00	31.11	Pressure plate apparatus
pF 2.54	28.73	Pressure plate apparatus
pF 4.20	11.03	Pressure membrane apparatus
Ruang pori total (% volume)	48.30	
Distribusi ruang pori (% volume)		
pori drainase sangat cepat	9.55	
pori drainase cepat	7.64	
pori drainase lambat	2.38	
air tersedia	17.70	
Tekstur (%)		Pipet
pasir	60.18	
debu	7.61	
liat	32.21	

Tabel Lampiran 3. Hasil Analisis Pendahuluan Limbah

Jenis Analisis	Hasil	Metode
pH H ₂ O (1:2.5)	6.47	pH-meter
N (%)	7.675	Kjeldahl
P (ppm)	0.447	Bray-2
C-org (%)	33.333	Kurmies
Basa-basa (me/100g)		NH ₄ OAc pH 7.0
K	1.129	
Ca	0.048	
Mg	0.168	
Na	0.037	
S (%)	0.24	
Logam berat (ppm)		0.1 N HCl, AAS
Pb	23.5	
Cd	2.0	
Cr	47.4	
Cu	35.2	

Tabel Lampiran 4. Hasil Analisis Pendahuluan Kotoran Sapi

Jenis Analisis	Hasil	Metode
N (%)	1.629	Kjeldahl
P (ppm)	0.321	Bray-2
C-org (%)	27.326	Kurmies
Basa-basa (me/100g)		NH ₄ OAc pH 7.0
K	0.958	
Ca	0.881	
Mg	0.357	
Na	0.057	
S (%)	0.238	
Logam berat (ppm)		0.1 N HCl, AAS
Pb	10.923	
Cd	0.046	
Cr	1.919	
Cu	0.736	

Tabel Lampiran 5. Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Bobot Isi

Sumber keragaman	Db	JK	KT	F-hit	F-tabel	
					0.05	0.01
Limbah	3	0.0272	0.0091	6.82 **	3.01	4.72
Kotoran Sapi	2	0.0674	0.0337	25.34 **	3.40	5.61
Interaksi	6	0.0306	0.0051	3.84 **	2.51	3.67
Galat	60	0.0319	0.0013			
Total	71	0.1571				

** Nyata pada taraf 0.01 ($\alpha = 1\%$)

Tabel Lampiran 6. Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Ruang Pori Total

Sumber keragaman	Db	JK	KT	F-hit	F-tabel	
					0.05	0.01
Limbah	3	38.733	12.911	6.82 **	3.01	4.72
Kotoran Sapi	2	95.956	47.978	25.34 **	3.40	5.61
Interaksi	6	43.438	7.262	3.84 **	2.51	3.67
Galat	60	45.438	1.893			
Total	71	223.565				

** Nyata pada taraf 0.01 ($\alpha = 1\%$)

Tabel Lampiran 7. Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Pori Drainase Sangat Cepat

Sumber keragaman	Db	JK	KT	F-hit	F-tabel	
					0.05	0.01
Limbah	3	98.061	32.687	9.70 **	3.01	4.72
Kotoran Sapi	2	89.879	44.940	13.34 **	3.40	5.61
Interaksi	6	11.231	1.872	0.56	2.51	3.67
Galat	60	80.857	3.369			
Total	71	280.028				

** Nyata pada taraf 0.01 ($\alpha = 1\%$)

Tabel Lampiran 8. Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Pori Drainase Cepat

Sumber keragaman	Db	JK	KT	F-hit	F-tabel	
					0.05	0.01
Limbah	3	20.146	6.715	0.65	3.01	4.72
Kotoran Sapi	2	26.318	13.159	1.27	3.40	5.61
Interaksi	6	12.803	2.134	0.21	2.51	3.67
Galat	60	247.830	10.326			
Total	71	307.097				

Tabel Lampiran 9. Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Pori Drainase Lambat

Sumber keragaman	Db	JK	KT	F-hit	F-tabel	
					0.05	0.01
Limbah	3	35.833	11.944	1.86	3.01	4.72
Kotoran Sapi	2	31.545	15.773	2.46	3.40	5.61
Interaksi	6	11.067	1.845	0.29	2.51	3.67
Galat	60	153.980	6.416			
Total	71	232.425				

Tabel Lampiran 10. Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Air Tersedia

Sumber keragaman	Db	JK	KT	F-hit	F-tabel	
					0.05	0.01
Limbah	3	86.607	28.869	17.31 **	3.01	4.72
Kotoran Sapi	2	8.237	4.119	2.47	3.40	5.61
Interaksi	6	2.679	0.446	0.27	2.51	3.67
Galat	60	40.024	1.668			
Total	71	232.425				

** Nyata pada taraf 0.01 ($\alpha = 1\%$)

Tabel Lampiran 11. Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Tinggi Tanaman Saat Panen (5 MST)

Sumber keragaman	Db	JK	KT	F-hit	F-tabel	
					0.05	0.01
Limbah	3	252.40	84.134	36.62 **	2.76	4.13
Kotoran Sapi	2	165.57	82.787	36.04 **	3.15	4.98
Interaksi	6	83.61	13.936	6.07 **	2.25	3.12
Galat	60	137.83	2.297			
Total	71	639.41				

** Nyata pada taraf 0.01 ($\alpha = 1\%$)

Tabel Lampiran 12. Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Jumlah Daun Saat Panen (5 MST)

Sumber keragaman	Db	JK	KT	F-hit	F-tabel	
					0.05	0.01
Limbah	3	52.640	17.547	17.84 **	2.76	4.13
Kotoran Sapi	2	37.352	18.676	18.98 **	3.15	4.98
Interaksi	6	9.773	1.623	1.66	2.25	3.12
Galat	60	59.026	0.984			
Total	71	158.791				

** Nyata pada taraf 0.01 ($\alpha = 1\%$)

Tabel Lampiran 13. Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Bobot Basah Saat Panen (5 MST)

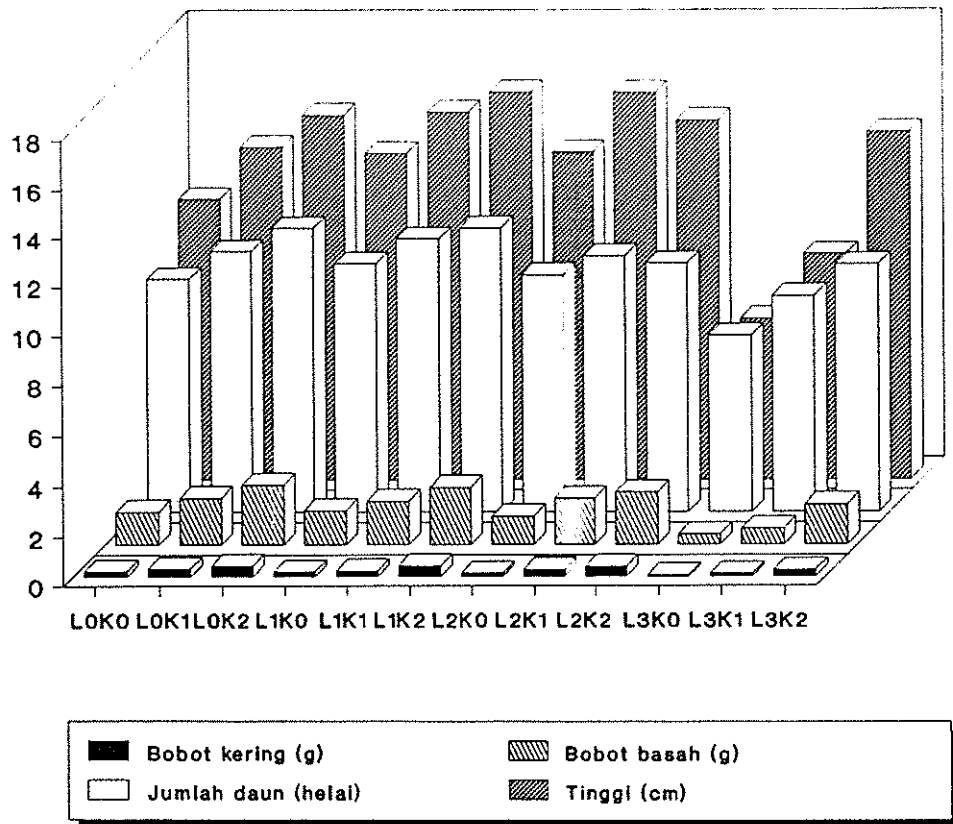
Sumber keragaman	Db	JK	KT	F-hit	F-tabel	
					0.05	0.01
Limbah	3	10.709	3.570	18.60 **	2.76	4.13
Kotoran Sapi	2	12.581	6.291	32.78 **	3.15	4.98
Interaksi	6	0.877	0.146	0.76	2.25	3.12
Galat	60	11.514	0.192			
Total	71	35.805				

** Nyata pada taraf 0.01 ($\alpha = 1\%$)

Tabel Lampiran 14. Daftar Sidik Ragam Perlakuan Pemberian Limbah dan Kotoran Sapi terhadap Bobot Kering Setelah Panen (5 MST)

Sumber keragaman	Db	JK	KT	F-hit	F-tabel	
					0.05	0.01
Limbah	3	0.3220	0.1073	8.99 **	2.76	4.13
Kotoran Sapi	2	0.7231	0.3615	30.28 **	3.15	4.98
Interaksi	6	0.0247	0.0041	0.35	2.25	3.12
Galat	60	0.7163	0.0119			
Total	71	1.7861				

** Nyata pada taraf 0.01 ($\alpha = 1\%$)



Gambar Lampiran 1. Bobot Kering, Bobot Basah, Jumlah Daun dan Tinggi Tanaman Umur 5 MST

Perlakuan	Ulangan	BI	RPT	pf1	pf2	pf2.54	pf4.2	PDSC	PDC	PDL	AT
L0K0	1	1.1041	58.34	36.36	22.93	19.20	13.47	21.98	13.43	3.73	5.73
L0K0	2	1.1628	56.12	34.78	22.49	20.07	14.07	21.34	12.29	2.42	6.00
L0K0	3	1.1218	57.67	34.05	20.46	19.77	14.02	23.62	13.58	0.70	5.74
Rataan		1.1296	57.37	35.06	21.96	19.68	13.85	22.31	13.10	2.28	5.82
L0K1	1	1.1201	57.73	40.04	25.74	19.44	15.11	17.69	14.30	6.29	4.33
L0K1	2	1.1700	55.85	36.36	23.91	21.47	15.34	19.49	12.45	2.45	6.13
L0K1	3	1.0699	59.63	41.61	28.15	22.76	15.20	18.02	13.46	5.39	7.56
Rataan		1.1200	57.74	39.34	25.93	21.22	15.22	18.40	13.40	4.71	6.01
L0K2	1	1.1225	57.64	36.19	23.99	20.54	13.36	21.45	12.20	3.45	7.18
L0K2	2	1.0819	59.17	41.84	21.97	17.95	12.66	17.34	19.86	4.02	5.29
L0K2	3	1.1324	57.27	40.15	23.60	19.75	13.36	17.12	16.55	3.84	6.39
Rataan		1.1123	58.03	39.39	23.19	19.42	13.13	18.64	16.21	3.77	6.29
L1K0	1	1.1234	57.61	33.76	24.65	19.20	13.93	23.85	9.11	5.45	5.27
L1K0	2	1.1035	58.36	38.14	22.11	19.32	13.13	20.22	16.03	2.79	6.19
L1K0	3	1.1141	57.96	36.63	23.75	21.01	12.37	21.33	12.88	2.74	8.64
Rataan		1.1137	57.97	36.18	23.50	19.84	13.14	21.80	12.67	3.66	6.70

Lanjutan

Perlakuan	Ulangan	BI	RPT	pF1	pF2	pF2.54	pF4.2	PDSC	PDC	PDL	AT
L1K1	1	1.0695	59.64	40.21	25.88	20.53	12.94	19.43	14.33	5.35	7.59
	2	1.1365	57.11	39.63	29.06	21.47	13.18	17.48	10.57	7.59	8.29
	3	1.0930	58.75	40.02	24.10	20.59	13.44	18.73	15.92	3.51	7.15
Rataan		1.0997	58.50	39.95	26.35	20.86	13.19	18.55	13.61	5.48	7.67
L1K2	1	1.0843	59.08	41.94	27.72	20.16	11.99	17.14	14.22	7.56	8.17
	2	1.0360	60.91	41.21	24.83	19.37	10.48	19.70	16.38	5.46	8.89
	3	1.0521	60.30	41.27	26.04	19.60	11.15	19.03	15.23	6.44	8.45
Rataan		1.0575	60.10	41.47	26.20	19.71	11.21	18.62	15.28	6.49	8.50
L2K0	1	1.0752	59.43	40.84	24.49	21.40	12.58	18.59	16.35	3.09	8.82
	2	1.1303	57.35	34.24	27.73	21.44	12.43	23.11	6.51	6.29	9.01
	3	1.1307	57.33	37.39	24.40	21.73	13.23	19.94	12.99	2.67	8.50
Rataan		1.1121	58.04	37.49	25.54	21.52	12.75	20.55	11.95	4.02	8.78
L2K1	1	1.1321	57.28	38.07	26.22	22.06	13.13	19.21	11.85	4.15	8.93
	2	1.1025	58.40	40.16	25.29	19.94	12.68	18.23	14.87	5.35	7.27
	3	1.0716	59.56	41.39	27.52	23.78	12.43	18.18	13.87	3.74	11.35
Rataan		1.1021	58.41	39.87	26.34	21.93	12.75	18.54	13.53	4.41	9.18



Lanjutan

Perlakuan	Ulangan	BI	RPT	pF1	pF2	pF2.54	pF4.2	PDSC	PDC	PDL	AT
L2K2	1	0.9345	64.74	46.61	31.22	22.85	13.32	18.12	15.39	8.37	9.53
L2K2	2	0.9578	63.86	46.01	34.28	25.18	13.20	17.84	11.73	9.10	11.98
L2K2	3	0.9666	63.52	42.57	26.33	22.58	14.53	20.96	16.24	3.75	8.05
Rataan		0.9530	64.04	45.06	30.61	23.54	13.68	18.97	14.45	7.07	9.85
L3K0	1	1.1093	58.14	38.35	31.91	20.02	12.31	19.79	6.44	11.89	7.71
L3K0	2	1.1318	57.29	38.95	25.09	23.86	13.15	18.34	13.86	1.23	10.71
L3K0	3	1.0857	59.03	40.55	25.18	21.54	12.52	18.48	15.37	3.64	9.02
Rataan		1.1089	58.15	39.28	27.39	21.81	12.66	18.87	11.89	5.59	9.15
L3K1	1	1.1187	57.78	45.54	31.36	25.01	14.15	12.24	14.18	6.34	10.86
L3K1	2	1.1302	57.35	39.43	32.45	25.01	14.35	17.92	6.98	7.44	10.66
L3K1	3	1.0468	60.50	45.91	28.63	23.64	13.19	14.59	17.28	4.99	10.45
Rataan		1.0986	58.54	43.63	30.81	24.55	13.90	14.92	12.81	6.26	10.66
L3K2	1	0.8768	66.91	50.31	40.29	28.22	19.38	16.60	10.02	12.07	8.84
L3K2	2	0.9675	63.49	50.00	37.32	31.80	19.83	13.49	12.68	5.51	11.97
L3K2	3	1.0190	61.55	50.78	37.37	32.92	22.52	10.77	13.41	4.44	10.40
Rataan		0.9544	63.98	50.36	38.32	30.98	20.58	13.62	12.04	7.34	10.40

Tabel Lampiran 16. Tinggi Tanaman Umur Dua Minggu Setelah Tanam (2 MST)

Perlakuan	Ulangan						Rataan
	1	2	3	4	5	6	
L0K0	2.93	3.60	5.50	4.83	5.15	3.95	4.33
L0K1	6.80	2.85	6.13	5.23	4.40	4.13	4.93
L0K2	6.28	4.38	4.88	5.02	6.77	6.37	5.61
L1K0	2.70	4.98	2.53	4.20	3.35	4.47	3.70
L1K1	4.73	5.07	6.27	4.27	7.20	4.30	5.30
L1K2	5.78	4.27	5.03	5.20	5.43	5.37	5.18
L2K0	5.35	4.85	4.23	3.00	3.95	5.00	4.40
L2K1	4.90	4.95	5.53	5.50	5.80	4.60	5.21
L2K2	3.90	6.17	5.56	8.37	5.80	4.37	5.69
L3K0	1.70	2.43	1.65	1.50	1.80	1.17	1.71
L3K1	2.38	3.35	2.93	3.93	1.95	2.37	2.82
L3K2	5.00	5.74	4.78	4.73	6.60	4.20	5.18

Tabel Lampiran 17. Tinggi Tanaman Umur Tiga Minggu Setelah Tanam (3 MST)

Perlakuan	Ulangan						Rataan
	1	2	3	4	5	6	
L0K0	7.38	7.23	8.33	8.97	8.15	7.75	7.97
L0K1	10.97	7.75	10.47	9.87	8.20	8.33	9.26
L0K2	9.95	9.07	10.48	10.30	10.47	10.27	10.09
L1K0	6.97	9.30	6.93	9.07	8.15	7.40	7.97
L1K1	9.25	9.47	10.40	8.83	11.00	8.90	9.64
L1K2	10.50	8.63	9.70	10.25	10.63	10.10	9.97
L2K0	9.65	8.95	8.60	5.80	8.05	8.60	8.28
L2K1	10.00	9.70	10.17	10.10	10.03	6.60	9.43
L2K2	8.10	10.07	10.36	11.30	10.70	8.13	9.78
L3K0	2.10	2.67	2.70	1.70	2.10	1.93	2.20
L3K1	3.08	4.65	3.70	3.80	2.10	3.17	3.42
L3K2	9.80	9.16	7.88	7.73	9.70	7.55	8.64

Tabel Lampiran 18. Tinggi Tanaman Umur Empat Minggu Setelah Tanam (4 MST)

Perlakuan	Ulangan						Rataan
	1	2	3	4	5	6	
L0K0	9.18	8.67	9.80	10.77	9.20	9.55	9.53
L0K1	12.33	8.60	12.30	12.77	9.83	9.80	10.94
L0K2	12.18	11.18	12.70	12.34	12.13	11.83	12.06
L1K0	9.30	11.35	9.77	10.73	11.35	9.40	10.32
L1K1	11.88	11.53	11.90	11.67	12.90	10.95	11.80
L1K2	12.25	11.50	12.50	12.88	12.63	11.77	12.25
L2K0	11.90	11.50	11.20	8.15	11.15	10.40	10.72
L2K1	12.25	12.70	13.37	12.45	13.43	8.83	12.17
L2K2	9.95	12.03	13.08	12.90	13.00	10.07	11.84
L3K0	3.45	4.80	4.95	2.80	2.10	3.60	3.62
L3K1	4.27	6.80	5.65	5.33	3.20	5.40	5.11
L3K2	13.07	11.40	10.84	10.47	11.60	10.80	11.36

Tabel Lampiran 19. Tinggi Tanaman Umur Lima Minggu Setelah Tanam (5 MST)

Perlakuan	Ulangan						Rataan
	1	2	3	4	5	6	
L0K0	11.63	9.83	11.73	12.60	10.50	11.90	11.37
L0K1	13.93	12.35	14.60	15.80	12.17	12.03	13.48
L0K2	14.45	13.58	15.48	16.32	14.93	13.70	14.74
L1K0	12.27	13.95	13.40	13.43	14.10	12.10	13.21
L1K1	15.20	14.80	14.50	15.00	15.50	14.15	14.86
L1K2	15.55	14.93	15.63	16.80	15.77	15.17	15.64
L2K0	13.50	13.95	15.00	11.25	14.70	11.20	13.27
L2K1	14.95	17.30	16.87	16.00	17.23	12.30	15.78
L2K2	14.00	14.40	15.52	14.83	16.30	12.13	14.53
L3K0	6.25	8.80	9.40	5.30	2.60	6.23	6.43
L3K1	8.25	12.40	11.18	8.43	6.60	9.63	9.42
L3K2	17.20	13.48	13.48	13.30	14.13	12.70	14.05

Tabel Lampiran 20. Jumlah Daun Tanaman Umur Dua Minggu Setelah Tanam (2 MST)

Perlakuan	Ulangan						Rataan
	1	2	3	4	5	6	
L0K0	3.50	3.67	4.67	3.33	4.00	5.00	4.03
L0K1	5.67	3.00	5.00	4.33	4.33	4.00	4.39
L0K2	5.00	4.50	5.00	5.20	6.33	5.67	5.28
L1K0	4.00	4.25	2.67	4.33	3.50	3.67	3.74
L1K1	5.75	4.00	4.67	3.67	5.00	4.50	4.60
L1K2	5.75	5.67	4.67	5.00	5.33	6.00	5.40
L2K0	4.00	4.50	4.00	3.00	4.00	4.00	3.92
L2K1	5.00	4.00	4.67	5.00	5.00	3.67	4.56
L2K2	4.00	4.00	4.60	6.67	5.00	4.00	4.71
L3K0	3.50	2.33	2.50	1.00	3.00	2.33	2.44
L3K1	2.75	4.00	3.25	4.33	3.00	3.67	3.50
L3K2	5.00	5.40	4.20	4.67	5.33	4.00	4.77

Tabel Lampiran 21. Jumlah Daun Tanaman Umur Tiga Minggu Setelah Tanam (3 MST)

Perlakuan	Ulangan						Rataan
	1	2	3	4	5	6	
L0K0	5.75	5.67	6.00	6.33	6.00	7.00	6.13
L0K1	7.67	5.50	7.33	6.67	7.00	5.67	6.64
L0K2	7.25	6.75	7.50	7.40	8.00	7.67	7.43
L1K0	5.33	6.75	4.67	6.67	5.50	5.67	5.76
L1K1	7.50	7.00	7.33	5.67	7.00	7.00	6.92
L1K2	7.75	8.00	7.00	7.25	8.00	8.00	7.67
L2K0	6.00	6.50	6.33	5.50	6.00	7.00	6.22
L2K1	7.50	6.00	6.00	6.50	7.00	6.00	6.50
L2K2	6.00	6.33	6.20	7.67	7.00	6.00	6.53
L3K0	4.25	4.33	5.00	1.00	3.00	4.00	3.60
L3K1	3.75	6.00	4.75	4.67	5.00	5.33	4.92
L3K2	6.33	6.60	5.80	7.00	6.33	5.50	6.26

Tabel Lampiran 22. Jumlah Daun Tanaman Umur Empat Minggu Setelah Tanam (4 MST)

Perlakuan	Ulangan						Rataan
	1	2	3	4	5	6	
L0K0	7.25	6.33	7.33	7.67	7.00	8.00	7.26
L0K1	9.00	7.00	8.33	8.00	8.67	7.33	8.06
L0K2	9.00	8.25	9.25	9.20	9.67	8.67	9.01
L1K0	7.33	8.00	7.00	8.33	8.50	8.00	7.86
L1K1	9.25	9.00	9.00	8.33	9.00	9.00	8.93
L1K2	9.50	10.33	8.67	9.00	9.67	9.67	9.47
L2K0	8.00	8.50	8.67	8.00	8.50	8.00	8.28
L2K1	9.00	8.00	8.67	8.50	9.33	7.67	8.53
L2K2	8.00	8.67	8.80	10.00	9.00	7.67	8.69
L3K0	5.25	5.33	6.50	3.00	3.00	4.67	4.63
L3K1	5.00	7.00	6.75	6.00	5.00	7.00	6.13
L3K2	8.67	8.80	8.40	9.00	8.00	8.50	8.56

Tabel Lampiran 23. Jumlah Daun Tanaman Umur Lima Minggu Setelah Tanam (5 MST)

Perlakuan	Ulangan						Rataan
	1	2	3	4	5	6	
L0K0	9.75	8.00	9.67	10.00	9.00	9.50	9.32
L0K1	11.00	9.50	11.00	11.00	10.67	9.67	10.47
L0K2	11.00	10.50	11.75	11.80	12.33	11.00	11.40
L1K0	9.33	10.25	8.67	11.00	10.50	10.00	9.96
L1K1	12.25	10.33	10.67	10.67	11.00	11.00	10.99
L1K2	11.00	12.00	11.00	11.00	12.00	11.67	11.45
L2K0	9.00	10.00	11.00	9.00	10.00	8.00	9.50
L2K1	11.00	10.00	10.00	10.00	11.33	9.33	10.28
L2K2	9.50	9.67	10.40	11.33	10.00	9.00	9.98
L3K0	8.50	8.33	9.00	5.00	4.00	7.33	7.03
L3K1	6.75	10.50	8.75	8.67	7.50	9.67	8.64
L3K2	11.33	9.80	9.60	10.00	9.33	9.50	9.93

Tabel Lampiran 24. Bobot Basah Tanaman Saat Panen (5 MST)

Perlakuan	Ulangan						Rataan
	1	2	3	4	5	6	
L0K0	1.97	1.12	1.40	1.33	1.03	1.03	1.31
L0K1	2.18	1.36	1.91	2.26	1.82	1.62	1.86
L0K2	2.24	1.77	2.92	3.03	2.07	2.13	2.36
L1K0	1.52	1.20	1.24	1.59	1.39	1.24	1.36
L1K1	1.90	1.66	1.75	2.01	1.45	1.58	1.73
L1K2	2.54	2.41	1.84	2.30	2.80	1.77	2.28
L2K0	0.90	1.11	1.52	1.02	1.65	0.56	1.13
L2K1	1.46	2.44	1.76	2.30	2.30	0.81	1.85
L2K2	1.51	2.58	2.00	2.42	3.00	0.95	2.08
L3K0	0.47	0.55	0.59	0.20	0.15	0.56	0.42
L3K1	0.51	0.96	0.78	0.52	0.47	0.68	0.65
L3K2	2.78	1.29	1.77	1.20	1.24	1.32	1.60

Tabel Lampiran 25. Bobot Kering Tanaman Setelah Panen (5 MST)

Perlakuan	Ulangan						Rataan
	1	2	3	4	5	6	
L0K0	0.39	0.19	0.21	0.17	0.20	0.18	0.22
L0K1	0.41	0.22	0.34	0.44	0.27	0.25	0.32
L0K2	0.43	0.36	0.67	0.46	0.33	0.39	0.44
L1K0	0.23	0.17	0.17	0.16	0.21	0.19	0.19
L1K1	0.25	0.29	0.21	0.19	0.25	0.21	0.23
L1K2	0.58	0.50	0.32	0.50	0.52	0.24	0.44
L2K0	0.11	0.13	0.23	0.11	0.26	0.05	0.15
L2K1	0.16	0.51	0.26	0.35	0.35	0.10	0.29
L2K2	0.36	0.60	0.41	0.50	0.44	0.19	0.42
L3K0	0.06	0.06	0.08	0.02	0.04	0.07	0.06
L3K1	0.21	0.11	0.19	0.05	0.05	0.08	0.12
L3K2	0.44	0.21	0.62	0.10	0.18	0.15	0.28