

A/TNH/1991/008

**PENGARUH KEMIRINGAN LERENG DAN CARA PENEMPATAN LIMBAH
TERHADAP KEHILANGAN LOGAM BERAT Cu, Cr, DAN Pb
DAN SERAPAN Pb OLEH BAYAM (Amaranthus sp.)
PADA INCEPTISOL DARMAGA**

Oleh

NANA SUBARNA



**JURUSAN TANAH, FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR**

1 9 9 1





RINGKASAN

NANA SUBARNA. Pengaruh Kemiringan Lereng dan Cara Penempatan Limbah Terhadap Kehilangan Logam Berat Cu, Cr dan Pb dan Serapan Pb oleh Tanaman Bayam (Amaranthus sp.) pada Inceptisol Darmaga (Dibawah bimbingan PRAYOTO dan ISWANDI ANAS)..pm 0.5"

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh kemiringan lereng dan cara penempatan limbah terhadap kehilangan logam berat Cu, Cr, dan Pb dan Serapan Pb oleh tanaman bayam (Amaranthus sp.) pada Inceptisol Darmaga. Sebagai alat bantu telaah pada penelitian ini parameter yang digunakan adalah tinggi tanaman, jumlah daun, dan produksi tanaman.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode erosi yang menggunakan petak erosi dengan panjang 11 meter dan lebar 1 meter.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah split plot dengan kemiringan lereng sebagai petak utama, cara penempatan limbah sebagai anak petak dengan tiga ulangan. Kemiringan lereng yang digunakan meliputi 0-3%, 3-8%, dan 8-15%. Perlakuan limbah meliputi perlakuan tanpa limbah, limbah sebar, dan limbah benam secara baris.

Pemberian limbah ke dalam tanah meningkatkan kepekaan logam berat di dalam tanah. Setelah inkubasi dua

minggu kepekatan tertinggi terjadi pada penempatan limbah secara sebar pada kemiringan lereng 8-15%. Setelah panen bayam kepekatan tertinggi terjadi pada penempatan secara benam.

Kehilangan logam berat Cu terbesar terjadi pada penempatan limbah secara benam dan kemiringan lereng 3-8%. Kehilangan logam berat Cr terbesar terjadi pada penempatan limbah secara sebar dan kemiringan lereng 3-8%. Sedangkan kehilangan Pb tertinggi terjadi pada penempatan limbah secara sebar dan kemiringan lereng 8-15%.

Serapan logam berat tertinggi terjadi pada perlakuan limbah sebar dengan kemiringan lereng 0-3%. Pertumbuhan dan produksi tanaman tidak dihambat oleh penambahan limbah ke dalam tanah. Sebaliknya penambahan limbah ke dalam tanah mendukung pertumbuhan dan meningkatkan produksi tanaman.



PENGARUH KEMIRINGAN LERENG DAN CARA PENEMPATAN LIMBAH
TERHADAP KEHILANGAN LOGAM BERAT Cu, Cr, DAN Pb
DAN SERAPAN Pb OLEH BAYAM (Amaranthus sp.)
PADA INCEPTISOL DARMAGA

O l e h
NANA SUBARNA

Laporan Penelaahan Masalah Khusus
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Pertanian
pada
Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

JURUSAN TANAH, FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR

1991



Judul : PENGARUH KEMIRINGAN LERENG DAN CARA
PENEMPATAN LIMBAH TERHADAP KEHILANGAN
LOGAM BERAT Cu, Cr, DAN Pb DAN SERAPAN
Pb OLEH BAYAM (Amaranthus sp.) PADA
INCEPTISOL DARMAGA

Nama Mahasiswa : NANA SUBARNA

Nomor Pokok : A 23.0538

Menyetujui,

Ir. Prayoto, MS.
Pembimbing I

Dr. Ir. Iswandi Anas, Msc.
Pembimbing II



Mengetahui,

Sarwono Hardjowigeno
Ketua Jurusan Tanah

TANGGAL LULUS : 18 MAY 1991

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 21 Mei 1967 di Cilacap, Jawa Tengah. Putra pertama dari tiga bersaudara dari keluarga bapak Suryasip dan ibu Ranti.

Pada tahun 1980 penulis lulus dari Sekolah Dasar Negeri 1 Tambaksari, pada tahun 1983 lulus dari Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 Majenang, dan pada tahun 1986 lulus dari Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Purwokerto.

Penulis diterima sebagai mahasiswa Institut Pertanian Bogor melalui seleksi penerimaan mahasiswa baru pada tahun 1986. Pada tahun 1987 penulis resmi menjadi mahasiswa Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Penulis aktif pada kepengurusan Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah periode 1988/1989 dan 1989/1990 sebagai wakil Bidang Kesejahteraan dan Ketua Biro Pengabdian Pada Masyarakat.

Halaman 1 dari 1 halaman
1. Diambil sebagai bagian dari penelitian yang dilakukan oleh dosen pembimbing dan mahasiswa untuk keperluan penelitian dan/atau publikasi.
2. Diambil sebagai bagian dari penelitian yang dilakukan oleh dosen pembimbing dan mahasiswa untuk keperluan penelitian dan/atau publikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis panjatkan puji syukur ke hadirat Allah swt. yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penelitian dan penulisan laporan penelaahan masalah khusus ini dapat terselesaikan.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Ir. Prayoto MS. dan Bapak Dr. Ir. Iswandi Anas, MSc. yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penelitian berlangsung hingga terwujudnya laporan ini.

Rasa terima kasih yang mendalam penulis sampaikan kepada ayah dan bunda tercinta atas segala do'a dan pengorbanan serta kasih sayang yang tiada batas. Tak lupa adik-adik tersayang dan *eneng terkasih*, penulis menyampaikan terima kasih atas dorongan dan bantuan morilnya serta kasih sayangnya.

Ucapan senada penulis sampaikan kepada semua rekan sejawat dan rekan-rekan terdekat; *ipung, hari, edi, ferry, agus, amper, rusli, yamin, budi, mamat, yanto, dedi, asepe, roi, tata, ade, dede, jono, joko, dan obring*. Tak lupa *enock*.

Tak ada jasa yang sia-sia dari semua pihak yang membantu terselesaikannya laporan masalah khusus ini.....

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadlirat Allah swt. yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga laporan penelaahan masalah khusus ini dapat terselesaikan.

Laporan penelaahan masalah khusus ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Ir. Prayoto MS. dan Bapak Dr. Ir. Iswandi Anas yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penelitian berlangsung hingga terselesaikannya laporan ini.

Penulis sadar bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu untuk kesempurnaan tulisan ini penulis secara terbuka dan lapang dada akan menerima kritik yang membangun guna perbaikan di masa yang akan datang.

Akhirnya, semoga laporan penelitian ini bermanfaat, khususnya bagi mereka yang cinta akan ilmu pengetahuan dan khalayak ramai pada umumnya.

Bogor, Mei 1991

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	ix
PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Tujuan Penelitian	4
TINJAUAN PUSTAKA	5
Hubungan Lereng dengan Erosi	5
Kerugian yang diakibatkan oleh Erosi	8
Siklus Logam Berat Di Alam	9
Penyebaran Logam Berat	10
Peranan Tanah Sebagai Tempat Pembuangan Limbah	10
Sumber dan Perilaku Tembaga di Dalam Tanah	12
Ketersediaan, Serapan, dan Distribusi Tembaga dalam Tanaman	14
Kekurangan dan Kelebihan Tembaga bagi Tanaman	19
Sumber dan Perilaku Chromium di Dalam Tanah	21
Ketersediaan, Serapan, dan Distribusi Chromium dalam Tanaman	23
Kekurangan dan Kelebihan Chromium pada Manusia dan Hewan	25
Sumber dan Perilaku Timah Hitam dalam Tanah	27

Hak Cipta: Penerbit: Universitas IPB
 1. Dilindungi sebagai hak cipta bagian dari seluruh karya-karya yang diterbitkan dan dipublikasikan secara elektronik dan cetak.
 2. Diperbolehkan untuk mengutip sebagian atau seluruh karya-karya ini dengan syarat: a) harus mencantumkan nama IPB University, b) harus mencantumkan judul buku, c) harus mencantumkan nomor halaman, d) harus mencantumkan tahun terbit, e) harus mencantumkan nama penerbit, f) harus mencantumkan nama penulis, g) harus mencantumkan nama penerbit, h) harus mencantumkan nama penerbit, i) harus mencantumkan nama penerbit, j) harus mencantumkan nama penerbit, k) harus mencantumkan nama penerbit, l) harus mencantumkan nama penerbit, m) harus mencantumkan nama penerbit, n) harus mencantumkan nama penerbit, o) harus mencantumkan nama penerbit, p) harus mencantumkan nama penerbit, q) harus mencantumkan nama penerbit, r) harus mencantumkan nama penerbit, s) harus mencantumkan nama penerbit, t) harus mencantumkan nama penerbit, u) harus mencantumkan nama penerbit, v) harus mencantumkan nama penerbit, w) harus mencantumkan nama penerbit, x) harus mencantumkan nama penerbit, y) harus mencantumkan nama penerbit, z) harus mencantumkan nama penerbit.

Ketersediaan, Serapan, dan Distribusi Timah Hitam dalam Tanah	29
Pengaruh Timah Hitam pada Manusia	32
Tanaman Bayam (<u>Amaranthus</u> sp.)	33
BAHAN DAN METODE	35
Tempat dan Waktu Penelitian	35
Alat dan Bahan Penelitian	35
Metode Penelitian	35
HASIL DAN PEMBAHASAN	39
Limbah Industri	39
Kemiringan Lereng	40
Cara Penempatan Limbah	41
Kandungan Logam Berat pada Tanah dan Limbah sebelum Perlakuan	41
Kandungan Logam Berat dalam Tanah Setelah Inkubasi Dua Minggu	42
Kehilangan Logam Berat Melalui Erosi	45
Serapan Timah Hitam (Pb) pada Akar, Batang, dan Daun Bayam	50
Kandungan Logam Berat dalam Tanah Setelah Panen Bayam	52
Pertumbuhan dan Produksi Tanaman	53
KESIMPULAN DAN SARAN	60
Kesimpulan	60
Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	66



DAFTAR TABEL

Tabel	<u>Teks</u>	halaman
1.	Rata-rata Kandungan Logam Berat Dalam Sedimen pada Tiga Kemiringan Lereng dengan dan tanpa Tanaman Bayam	47
2.	Rata-rata Kandungan Logam Berat Dalam Sedimen pada Tiga Penempatan Limbah dengan dan tanpa Tanaman Bayam	48
3.	Rata-rata Serapan Total Pb dalam Akar (a), Batang (b), dan Daun (d) pada Tiga Kemiringan Lereng	52
4.	Rata-rata Serapan Total Pb dalam Akar (a), Batang (b), dan Daun (d) pada Tiga Penempatan Limbah	53
5.	Rata-rata Kandungan Logam Berat dalam Tanah setelah Panen Bayam pada Tiga Kemiringan Lereng	54
6.	Rata-rata Kandungan Logam Berat dalam Tanah setelah Panen Bayam pada Tiga Penempatan Limbah	54
7.	Rata-rata Tinggi Tanaman pada Dua dan Tiga Minggu setelah Tanam pada Tiga Kemiringan Lereng	57
8.	Rata-rata Tinggi Tanaman pada Dua dan Tiga Minggu setelah Tanam pada Tiga Penempatan Limbah	58
9.	Rata-rata Jumlah Daun pada Dua dan Tiga Minggu setelah Tanam pada Tiga Kemiringan Lereng	58
10.	Rata-rata Jumlah Daun pada Dua dan Tiga Minggu setelah Tanam pada Tiga Penempatan Limbah	59

Hal Cipta (Intelectual) Universitas
 IPB dilindungi sebagai salah satu bentuk kekayaan intelektual yang dimiliki dan dikelola oleh Universitas IPB. Penggunaan atau reproduksi tanpa izin dari Universitas IPB merupakan pelanggaran terhadap hak cipta. Untuk informasi lebih lanjut, silakan hubungi bagian hukum Universitas IPB.
 IPB University
 Institut Pertanian Bogor

Halaman ini adalah bagian dari dokumen yang diterbitkan oleh IPB University dan tidak boleh disebarluaskan atau digunakan untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari IPB University. Untuk informasi lebih lanjut, silakan hubungi IPB University.

halaman

11.	Rata-rata Bobot Basah/Petak Tanaman Bayam pada Tiga Kemiringan Lereng	59
12.	Rata-rata Bobot Basah/Petak Tanaman Bayam pada Tiga Penempatan Limbah	59

Lampiran

1.	Sifat Fisik Inceptisol Darmaga dan Limbah sebelum Perlakuan	67
2.	Sifat Kimia Inceptisol Darmaga dan Limbah sebelum Perlakuan	67
3.	Logam Berat Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl Dalam Tanah dan Limbah sebelum Perlakuan	67
4.	Suhu Udara (T) pada Siang Hari dan Rata-rata Curah Hujan Bulanan selama masa Penelitian	68
5.	Pengamatan Terhadap Perubahan pH Tanah selama Masa Penelitian secara Periodik Setiap Minggu	68
6.	Rata-rata Kandungan Logam Berat setelah Inkubasi pada Berbagai Kombinasi Perlakuan	68
7.	Tembaga Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah Setelah Inkubasi Dua Minggu	69
8.	Chromium Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah Setelah Inkubasi Dua Minggu	69
9.	Timah Hitam Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah Setelah Inkubasi Dua Minggu	70
10.	Tembaga Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Sedimen	70

	halaman
11. Chromium Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Sedimen	71
12. Timah Hitam Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Sedimen	71
13. Serapan Total Pb Akar Bayam selama Tiga Minggu Tanam	72
14. Serapan Total Pb Batang Bayam selama Tiga Minggu Tanam	72
15. Serapan Total Pb Daun Bayam selama Tiga Minggu Tanam	73
16. Tembaga Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah setelah Panen Bayam	73
17. Chromium Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah setelah Panen Bayam	74
18. Timah Hitam Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah setelah Panen Bayam	74
19. Tinggi Tanaman Umur Dua Minggu setelah Tanam	75
20. Tinggi Tanaman Umur Tiga Minggu setelah Tanam	75
21. Jumlah Daun pada Dua Minggu Setelah Tanam	76
22. Jumlah Daun pada Tiga Minggu Setelah Tanam	76
23. Bobot Basah/Petak Tanaman Bayam	77
24. Daftar Sidik Ragam Cu Terlarut dalam Tanah Setelah Inkubasi	77
25. Daftar Sidik Ragam Cr Terlarut dalam Tanah Setelah Inkubasi	77

Halaman ini adalah bagian dari publikasi yang diterbitkan oleh IPB University dan merupakan sumber informasi yang akurat dan terpercaya. Untuk lebih jelasnya, silakan kunjungi laman www.ipb.ac.id.
 IPB University is a leading institution in the field of agriculture, forestry, and environmental science. We are committed to providing high-quality education and research to our students and staff.
 IPB University is a leading institution in the field of agriculture, forestry, and environmental science. We are committed to providing high-quality education and research to our students and staff.

	halaman
26. Daftar Sidik Ragam Pb Terlarut dalam Tanah Setelah Inkubasi	78
27. Daftar Sidik Ragam Cu Terlarut dalam Sedimen	78
28. Daftar Sidik Ragam Cr Terlarut dalam Sedimen	78
29. Daftar Sidik Ragam Pb Terlarut dalam Sedimen	78
30. Daftar Sidik Ragam Serapan Total Pb Akar Bayam	79
31. Daftar Sidik Ragam Serapan Total Pb Batang Bayam	79
32. Daftar Sidik Ragam Serapan Total Pb Daun Bayam	79
33. Daftar Sidik Ragam Cu Terlarut dalam Tanah Setelah Panen Bayam	79
34. Daftar Sidik Ragam Cr Terlarut dalam Tanah Setelah Panen Bayam	80
35. Daftar Sidik Ragam Pb Terlarut dalam Tanah Setelah Panen Bayam	80
36. Daftar Sidik Ragam Tinggi Tanaman pada Dua Minggu Setelah Tanam	80
37. Daftar Sidik Ragam Tinggi Tanaman pada Tiga Minggu Setelah Tanam	80
38. Daftar Sidik Ragam Jumlah Daun pada Dua Minggu Setelah Tanam	81
39. Daftar Sidik Ragam Jumlah Daun pada Tiga Minggu Setelah Tanam	81
40. Daftar Sidik Ragam Bobot Basah Tiap Petak Tanaman Bayam	81

Gambar		halaman
	<u>Teks</u>	
1.	Pergerakan Unsur Mikro di Alam	11
	<u>Lampiran</u>	
1.	Denah Petak Percobaan di Kebun Percobaan Agronomi Cikabayan	82
2.	Bagan Ekstraksi Logam Berat pada Tanah dengan Metode 0.1 N HCl	83
3.	Bagan Ekstraksi Logam Berat pada Jaringan Tanaman	84

Misi Cipta Inovasi dan Unggulan
 1. Dilakukan sebagai bagian dari penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan dan memperluas sumber
 2. Penelitian hasil karya dan teknologi yang dihasilkan, inovatif, kreatif, dan bermanfaat bagi masyarakat
 3. Menghasilkan karya yang inovatif dan kreatif yang dapat meningkatkan daya saing bangsa
 4. Dilakukan sebagai bagian dari penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan dan memperluas sumber

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pembangunan merupakan suatu proses untuk menciptakan keadaan dimana tersedia pilihan-pilihan yang syah bagi manusia dalam rangka pencapaian aspirasinya yang paling humanistik. Menurut Salim (1988) dampak pembangunan bekerja dua arah, pertama terhadap sumber alam yang diolah dan kedua terhadap masyarakat ketika hasil olahan sumber alam ini disediakan bagi masyarakat.

Pencemaran lingkungan merupakan dampak yang tidak menguntungkan dari proses pembangunan. Hal ini terjadi karena adanya proses pengolahan sumber alam untuk memenuhi pola konsumsi manusia yang menghasilkan berbagai macam limbah dalam bentuk, ukuran, dan jumlah yang berbeda-beda.

Akhir-akhir ini limbah menjadi masalah penting yang dihadapi oleh kota-kota besar. Tidak hanya menyangkut masalah ruang yang diperlukan sebagai tempat pembuangannya, tetapi juga menyangkut masalah yang lebih luas seperti kandungan logam berat dan bahan inorganik lainnya.

Di Lokasi Pembuangan Akhir limbah Cakung - Cilincing limbah-limbah dari DKI Jakarta mengalami penumpukan dan pembusukan. Tanah sampah yang terbentuk dimanfaatkan oleh para petani sebagai lahan untuk usahatani tanaman bayam. Bayam yang diproduksi semuanya diperuntukkan bagi

konsumsi penduduk Jakarta dan sekitarnya. Praktek budi-
daya semacam ini besar resikonya dalam hubungan tanah -
tanaman - konsumen.

Logam-logam berat yang diserap oleh tanaman hanyalah
sebagian dari logam-logam berat yang terbang bersama
limbah. Proporsi logam-logam berat yang lain akan menye-
bar bersama erosi dan aliran permukaan serta meresap ke
dalam tanah bersama air infiltrasi dan perkolasi.

Air merupakan agen penyebaran logam berat di daerah
tropika. Curah hujan yang tinggi merupakan sumber air
bagi penyebaran logam berat dari tanah bersama aliran
permukaan dan erosi. Pengangkutan partikel-partikel tanah
oleh aliran permukaan dan erosi akan memperkaya kandungan
logam-logam berat dalam cadangan-cadangan air dimana
aliran permukaan dan erosi ini bermuara. Hal ini amat
membahayakan kehidupan akuatik.

Gerakan air di permukaan dan di dalam tanah dipenga-
ruhi oleh sifat-sifat tanah. Dalam hubungan ini sifat-
sifat tanah yang penting adalah tekstur, struktur, jenis
mineral liat, stabilitas agregat, pemadatan tanah, kadar
air tanah, permeabilitas tanah, kandungan bahan organik,
dan sifat-sifat lainnya.

Lereng merupakan unsur pembentuk bentang alam.
Sehubungan dengan penyebaran logam berat dimana gerakan
air merambat sepanjang lereng, maka studi lereng dalam



studi penyebaran logam berat akan memberikan hasil yang lebih nyata.

Serapan logam berat oleh tanaman budidaya dan kehilangannya melalui erosi dan aliran permukaan dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah, kemiringan lereng, dan cara penempatan limbah. Hal ini menyebabkan pentingnya dilakukan penelitian dalam rangka analisis dampak lingkungan. Semua ini tidak lain karena tanah, tanaman, dan makhluk hidup merupakan bagian dari rantai siklus logam berat dan bahan inorganik lainnya.

Penelitian ini mencoba menelaah proporsi logam berat yang hilang bersama erosi dan aliran permukaan dan yang terserap oleh tanaman indikator melalui simulasi empiris dari keadaan sebenarnya di LPA Cakung - Cilincing pada Inceptisol Darmaga. Kemiringan lereng, cara penempatan limbah merupakan variabel yang diamati. Parameter yang digunakan sebagai alat bantu telaah pada penelitian ini adalah tinggi tanaman, jumlah daun, dan produksi tanaman.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh kemiringan lereng dan cara penempatan limbah terhadap kehilangan logam berat Cu, Cr, dan Pb, dan serapan Pb oleh tanaman bayam (Amaranthus sp.) pada Inceptisol Darmaga. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan



bagi Pemerintah DKI Jakarta dalam pengelolaan limbah, pembuangan dan pemusnahannya.



TINJAUAN PUSTAKA

Hubungan Lereng dengan Erosi

Besarnya erosi tanah merupakan fungsi dari lima faktor, yaitu iklim, topografi, sifat tanah, vegetasi, dan manusia.

Kemiringan lereng

Kemiringan lereng sangat berpengaruh terhadap aliran permukaan, dimana makin curam lerengnya makin besar kecepatan aliran permukaan yang terjadi. Selain dari pada itu, dengan makin curamnya lereng jumlah butir tanah yang terpercik ke atas oleh tumbukan butiran air hujan akan semakin banyak. Jika lereng permukaan dua kali lebih curam maka banyaknya erosi dapat mencapai 2.0 sampai 2.5 kali lebih besar. Hubungan kemiringan lereng dengan erosi diformulasikan sebagai berikut:

$$X_c = 0.065 S^{1.49}$$

dimana X_c adalah jumlah erosi dalam satuan ton/acre dan S adalah kemiringan lereng dalam satuan persen (Arsyad, 1980). Selanjutnya dikatakan bahwa persamaan tersebut lebih baik digunakan untuk tanah dengan kemiringan lereng yang lebih besar dari delapan persen.

Panjang Lereng

Panjang lereng merupakan jarak dari titik awal aliran sampai titik dimana mulai ada pengendapan atau aliran permukaan masuk ke saluran. Makin panjang lereng permukaan, makin tinggi potensial erosi karena akumulasi air aliran permukaan semakin tinggi. Kecepatan aliran permukaan yang makin tinggi mengakibatkan kapasitas penghancuran dan deposisi makin tinggi pula (Wischmeier, 1973).

Pengaruh panjang lereng terhadap erosi tergantung pada sifat tanah dan intensitas hujan. Umumnya erosi meningkat dengan bertambahnya panjang lereng untuk intensitas hujan yang tinggi, tetapi bila intensitas hujannya rendah, erosi mungkin saja menurun (Baver, 1961). Bila aliran permukaan dapat terjadi di sepanjang lereng, maka kecepatan di bagian bawahnya lebih besar dari pada di atasnya, akibatnya erosi yang terjadi lebih besar di bagian bawahnya (FAO, 1965).

Arah Lereng

Di belahan bumi bagian utara lereng yang menghadap ke arah selatan mengalami erosi lebih besar dari pada yang menghadap ke utara. Hal ini disebabkan karena tanah dengan lereng menghadap ke selatan, secara intensif dan langsung terkena pengaruh sinar matahari sehingga

kandungan bahan organiknya rendah, akibatnya tanahnya mudah terdispersi (Arsyad, 1980).

Konfigurasi Lereng

Lereng permukaan tanah dapat berbentuk cembung, cekung, dan lurus (Wiradisastra, 1986). Pengamatan secara umum menunjukkan bahwa erosi lembar terjadi lebih hebat pada permukaan yang cembung dari pada yang cekung atau lurus. Sedangkan pada permukaan cekung, cenderung terjadi bentuk erosi alur atau erosi' parit. Pergerakan total partikel tanah pada lereng cekung jauh lebih kecil dari pada lereng cembung, sehingga perubahan bentuknya jauh lebih sedikit dari pada lereng cembung (Sinukaban, 1986).

Keseragaman Lereng

Lereng permukaan tanah tidak selalu mempunyai kecuraman yang seragam. Penelitian tentang pengaruh keseragaman lereng terhadap erosi dan aliran permukaan, akan lebih kecil pada lereng yang tidak seragam (Arsyad, 1980).

Menurut Djaenuddin (1979) lereng merupakan unsur pembentuk bentang alam yang utama dan mencakup tiga aspek, yaitu kemiringan, posisi, dan bentuk. Ketiga aspek ini mempengaruhi proses erosi, pencucian, dan transportasi yang terjadi. Pada lereng yang cembung proses utama yang terjadi adalah erosi dan pencucian. Selain berpengaruh terhadap laju aliran permukaan, menurut Foth dan Turk



(1972) lereng mempengaruhi perkembangan profil tanah melalui tiga cara, yaitu : (1) mempengaruhi kelembaban tanah, (2) mempengaruhi kecepatan erosi tanah, dan (3) mempengaruhi pergerakan bahan-bahan dalam suspensi tanah atau larutan tanah dari suatu tempat ke tempat lain.

Kerugian yang Diakibatkan oleh Erosi

Erosi dapat menurunkan fungsi tanah sebagai media untuk produksi tanaman, media untuk mengatur tata air, dan media untuk perlindungan lingkungan hidup. Kerusakan yang timbul akibat erosi air antara lain adalah kehilangan tanah, pengendapan, kehilangan air, pencemaran lingkungan hidup, dan penurunan nilai kemanusiaan (Beasley, 1986).

Khusus mengenai pengaruh erosi terhadap pencemaran lingkungan hidup, Sinukaban (1986) mengatakan bahwa pupuk buatan, pestisida, sisa-sisa tanaman, kotoran-kotoran hewan dan manusia, bakteri-bakteri patogen yang terbawa bersama lumpur dan yang terlarut dalam aliran permukaan akan menjadi bahan pencemar perairan di daerah hilir. Kontaminasi air oleh insektisida organik sangat mematikan ikan dan benih ikan. Kontaminasi perairan oleh nitrogen dan fosfor dapat menyebabkan penyuburan (Eutrophication) air sungai dan danau yang merangsang tumbuh suburnya gulma air.

Pencemaran air sungai atau waduk oleh lumpur akan menambah biaya untuk perlakuan pembebasan lumpurnya supaya dapat digunakan untuk kebutuhan air sehari-hari atau industri. Terdapatnya lumpur dalam air untuk proses pendinginan dalam industri akan menambah biaya karena suhu air lebih tinggi dan lumpur akan melekat pada peralatan (Beasley, 1974).

Selanjutnya dikatakan bahwa pengurangan nilai lahan dan sungai sebagai habitat satwa atau keindahan untuk rekreasi juga disebabkan oleh erosi. Lumpur yang tersuspensi dalam aliran akan mengotori air sungai, waduk, danau, dan pantai, serta merusak habitat bagi ikan dan satwa lain. Lumpur yang tersuspensi mengurangi keseimbangan oksigen yang dibutuhkan untuk pertumbuhan organisme air dan endapannya dapat menutupi sarang tempat ikan bertelur.

Siklus Logam Berat di Alam

Tidak semua unsur logam dimasukkan dalam kelompok logam berat, tetapi istilah logam berat dipakai untuk keperluan kesederhanaan (Soepardi, 1983).

Sejumlah unsur yang berbeda, termasuk unsur mikro, berputar dari cadangan kulit bumi melalui tanaman, hewan, dan manusia dan kembali lagi ke alam. Pergerakan berputar ini disertai dengan perubahan kimiawi yang esensial untuk



kehidupan. Masing-masing unsur bergerak melalui siklus ini dengan jalan dan mekanisme yang spesifik (Allaway, 1968). Siklus unsur mikro di alam disajikan pada Gambar 1.

Penyebaran Logam Berat

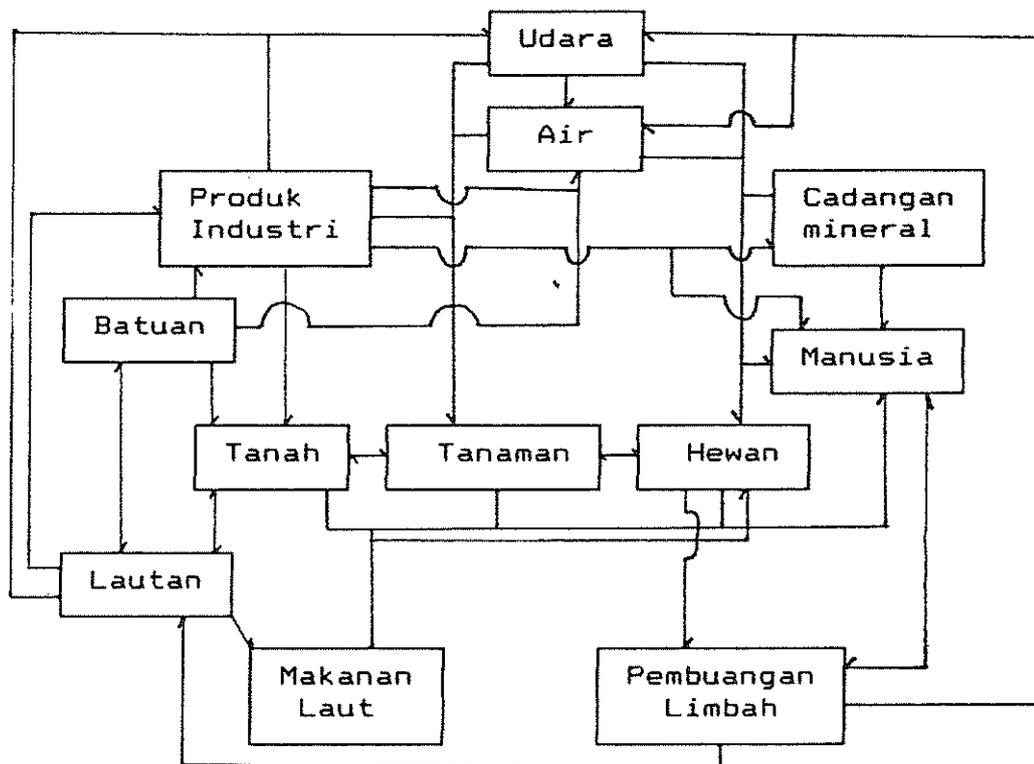
Di daerah tropika, agen utama penyebaran logam berat adalah air. Curah hujan yang jatuh di lokasi pembuangan akhir limbah sebagian akan masuk ke dalam tanah dan sebagian lagi akan bergerak horisontal di permukaan tanah. Air yang masuk ke dalam tanah disebut air infiltrasi dan yang mengalir di permukaan tanah disebut aliran permukaan. Dalam hubungannya dengan penyebaran logam berat, aliran permukaan lebih dominan peranannya dari pada infiltrasi. Sedangkan logam berat yang tercuci ke dalam tanah akan mencemari air tanah (Emerrich, Lund, Page, dan Chang, 1982).

Peranan Tanah Sebagai Tempat Pembuangan Limbah

Tanah telah lama digunakan sebagai tempat pembuangan kotoran comberan, sampah industri dan lainnya. Kelebihan tanah sebagai tempat pembuangan limbah adalah tanah banyak mengandung jasad mikro, sehingga mampu menghancurkan limbah. Di samping itu bahan yang terkandung di dalam limbah dapat bereaksi dengan tanah. Selain itu kerugiannya adalah apabila jumlah limbah yang dibuang melebihi



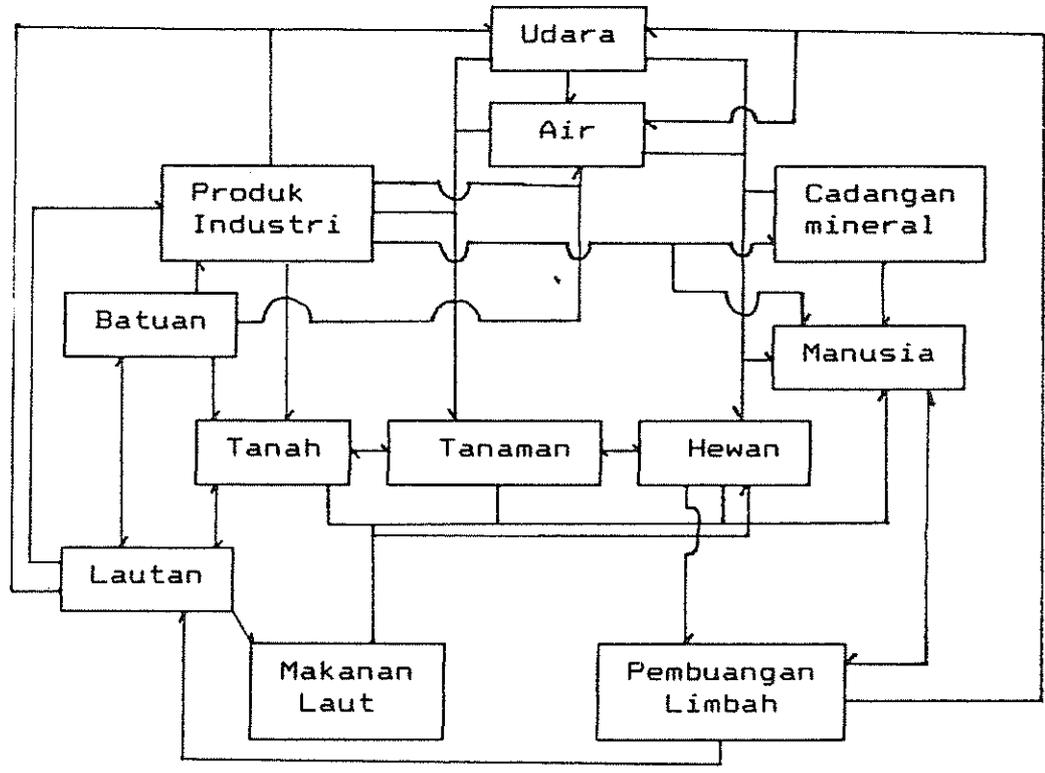
kemampuan tanah untuk menampung limbah akan mengakibatkan tanah menjadi tercemar (Soepardi, 1983). Tanah merupakan bagian dari siklus logam berat dan pencemaran bahan inorganik lainnya. Tanah juga merupakan tempat terakhir



Gambar 1. Pergerakan Unsur Mikro di Alam (Faust dan Aly, 1981)

bagi penimbunan sejumlah besar bahan tersebut. Selanjutnya reaksi kimia yang dialami bahan tersebut di dalam tanah, dapat mengendalikan hingga batas tertentu perputaran atau penghilangan dari putaran tersebut (Soepardi, 1983). Menurut Chang dan Broadbent (1982) penggunaan endapan lumpur yang mengandung logam berat pada tanah,

kemampuan tanah untuk menampung limbah akan mengakibatkan tanah menjadi tercemar (Soepardi, 1983). Tanah merupakan bagian dari siklus logam berat dan pencemaran bahan inorganik lainnya. Tanah juga merupakan tempat terakhir



Gambar 1. Pergerakan Unsur Mikro di Alam (Faust dan Aly, 1981)

bagi penimbunan sejumlah besar bahan tersebut. Selanjutnya reaksi kimia yang dialami bahan tersebut di dalam tanah, dapat mengendalikan hingga batas tertentu perputaran atau penghilangan dari putaran tersebut (Soepardi, 1983). Menurut Chang dan Broadbent (1982) penggunaan endapan lumpur yang mengandung logam berat pada tanah,

Hal Cipta Mita IPB University
1. Diambil sebagai bagian dari siklus logam berat dan pencemaran bahan inorganik lainnya.
2. Diambil sebagai bagian dari siklus logam berat dan pencemaran bahan inorganik lainnya.

mempercepat penyerapan logam berat tersebut oleh tanah. Pada kondisi tertentu tingkat ketinggian konsentrasi logam berat dalam tanah dapat menyebabkan kerusakan yang serius pada jaringan tanaman. Bahkan sebelum tanaman itu sendiri menunjukkan gejala keracunan, akumulasi logam berat pada jaringan tanaman dapat mencapai tingkat yang dianggap berbahaya bagi konsumen.

Soepardi (1983) mengatakan bahwa penggunaan tanah sebagai tempat pembuangan limbah akan lebih tepat bila tidak dikaitkan dengan produksi tanaman, karena jumlah limbah yang harus dibuang pada umumnya tidak ditentukan oleh kemampuan tanah dalam mencerna limbah. Dengan demikian dapat saja terjadi hal-hal yang merugikan tanaman, oleh karena itu diperlukan penanganan yang serius dalam pemanfaatan limbah industri bagi bidang pertanian.

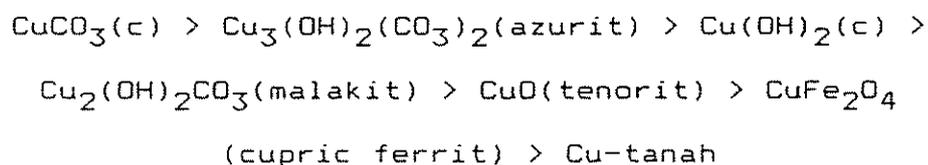
Sumber dan Perilaku Tembaga di Dalam Tanah

Konsentrasi Cu pada kerak bumi berkisar antara 55-70 ppm. Kandungan Cu pada batuan beku berkisar 10-100 ppm, sedangkan pada batuan sedimen 4-45 ppm (Taylor, 1964; Tisdale, Nelson, dan Beaton, 1985). Pada batuan beku, Cu terdapat sebagai butiran submikroskopik dari sulfida antara kristal silikat, logam mikro pengganti kation lain (Cu^{2+} untuk Ca^{2+} , Cu^{2+} untuk Mg^{2+} dan Fe^{2+}) pada Ferromagnesium, Silikat dan sebagai ion atau garam terjerap pada



lapisan permukaan kristal silikat. Hal ini menyebabkan Cu lebih banyak pada batuan basalt dari pada granit (Krauskopf, 1972).

Bentuk-bentuk senyawa Cu di dalam tanah antara lain Kalkosit (Cu_2S) dan Kovalit (CuS) sebagai senyawa sulfida, Malakit ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$) dan Azurit ($\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$) sebagai senyawa karbonat, Krysokola ($\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) sebagai senyawa silikat (Krauskopf, 1972; Lepp, 1981). Menurut Lindsay (1972) seluruh mineral Cu lebih mudah larut dari pada Cu-tanah, dengan deret kelarutan sebagai berikut:



Fraksionasi terhadap bentuk-bentuk Cu di dalam tanah yang dilakukan oleh McLaren dan Crawford (1973) dalam Lepp, (1981) menunjukkan bentuk-bentuk Cu sebagai berikut: (1) Cu dalam larutan tanah dan Cu bebas dipertukarkan, (2) Cu yang diikat dengan lemah oleh senyawa atau ikatan inorganik, (3) Cu yang diikat oleh ikatan atau senyawa organik, (4) Cu yang berikatan dengan oksida bebas, dan (5) residu Cu yang terikat pada kisi-kisi struktur liat.

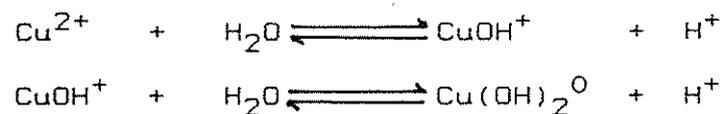
Bentuk-bentuk senyawa Cu yang disebutkan di atas adalah bentuk-bentuk senyawa yang berasal dari kerak bumi dan sumber batuan. Menurut Korcak dan Fanning (1981),



King dan Dunlop (1982), Vergera, Schalscha, dan Pratt (1985), Chu dan Wong (1987) penambahan kompos sampah kota, limbah industri, kotoran comberan, dan kotoran hewan dan manusia menambah ketersediaan Cu, Cr, Pb, Mn, Fe, dan Zn di dalam tanah.

Menurut Tisdale *et al.* (1985) konsentrasi Cu dalam larutan tanah umumnya sangat rendah, berkisar 10^{-8} - 10^{-6} molar (0.6-63 ppb). Pada pH di bawah 6.9, jenis Cu^{2+} dominan. Di atas pH 6.9, $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$ dominan dan CuOH^+ pada pH 7.0.

Reaksi hidrolisis Cu:



Ketersediaan, Serapan, dan Distribusi Tembaga dalam Tanaman

Ketersediaan relatif tembaga di dalam tanah akan ditentukan oleh respon tanaman terhadap tembaga (Lepp, 1981). Selanjutnya dikatakan bahwa unsur Cu tersedia bagi tanaman dalam bentuk kation dan senyawa kompleks. Seperti juga unsur P di dalam tanah, Cu juga mengalami jerapan di dalam tanah.

Ion Cu^{2+} secara spesifik terjerap oleh lapisan liat silikat, bahan organik dan oksida Fe, Al, atau Mn. Tembaga yang dijerap mineral liat dan oksida Fe dan Al masih dapat dipertukarkan dengan kation-kation lain. Sebaliknya



jika dijerap oleh oksida Mn dan bahan organik tembaga tidak dapat di pertukarkan (Tisdale *et al.*, 1985).

Kation-kation unsur mikro terikat dekat permukaan negatif tanah oleh gaya elektrostatis. Ikatan kovalen juga terjadi pada proses jerapan spesifik dari mekanisme pertukaran kation. Sebagai contoh, ikatan Cu pada O dari kisi-kisi OH^- dengan penggunaan bersama elektron-elektron (Ellis dan Knezek, 1972).

Menurut McBride (1978) mekanisme jerapan Cu^{2+} pada liat aluminosilikat amorf serupa dengan substitusi isomorfik logam ke dalam struktur liat. Bentuk Cu^{2+} yang memasuki struktur liat menjadi immobil dan tidak dapat dipertukarkan.

Menurut Tisdale *et al.* (1985) mekanisme jerapan oleh oksida tidak seperti gaya elektrostatis bebas yang terjadi pada partikel muatan negatif liat, terlihat dari formasi ikatan permukaan $\text{Cu}^+-\text{O}-\text{Al}$ atau $\text{Cu}-\text{O}-\text{Fe}$. Proses jerapan kimiawi ini dikontrol oleh gugus hidroksil. Oksida Mn menjerap Cu^{2+} lebih kuat dari pada oksida Fe atau Al.

Tembaga memiliki konstanta hidrolisis $10^{-7.6}$, pada pH di atas 7.0 bentuk hidrolisis CuOH^+ dijumpai dalam jumlah cukup banyak dibandingkan Cu^{2+} dalam reaksi jerapan (Ellis dan Knezek, 1972).

Jerapan Cu pada oksida Mn, Fe, dan Al meningkat mengikuti pH. Jika pH meningkat, hidrolisis ionik seperti



$\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ pada permukaan liat meningkat, bersamaan dengan pembebasan proton dan reduksi terhadap jumlah Cu^{2+} yang dapat dipertukarkan (Tisdale *et al.*, 1985).

Dalam keterangan lain Tisdale *et al.* (1985) mengatakan bahwa mobilitas Cu di dalam larutan tanah menurun dengan meningkatnya pH tanah. Penurunan ini berkaitan dengan bertambahnya peranan koloid. Koloid-koloid tanah meningkatkan aktivitas permukaan. Aktivitas ini menyangkut: (1) meningkatkan tapak-tapak jerapan koloid yang tergantung muatan variabel tanah, (2) penurunan kompetisi dengan ion H, dan (3) perubahan bentuk pada Cu larutan.

Perubahan bentuk Cu larutan disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, karena perubahan menjadi $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$, terjadi pada pH 6.9. Di atas pH ini $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$ menjadi $\text{Cu}(\text{OH})_3^{-1}$, $\text{Cu}(\text{OH})_4^{-2}$, dan $\text{Cu}(\text{OH})_2^{2+}$ (Lindsay, 1972, 1979). Kedua, pada tanah-tanah yang dipupuk unsur P, akan terbentuk $\text{CuHP}_2\text{O}_7^-$ yang memiliki kelarutan sangat rendah (Lindsay, 1979).

Menurut Soepardi (1983) reaksi Cu di dalam tanah dipengaruhi oleh pH, kadar bahan organik, dan keadaan drainase yang baik serta unsur berada dalam bentuk bervalensi tinggi maka sebagian besar tanah akan mengikat unsur ini dalam jumlah yang relatif banyak.



Beberapa protein mengandung Cu dan menjadi karakter enzim. Tembaga tampak meningkatkan pembentukan vitamin A (Jacob dan Uexkull, 1960).

Menurut Soepardi (1983) Cu merupakan penyusun dari berbagai enzim, meliputi asam askorbik oksidase, fenolase, laktase, dan lain-lain. Tembaga juga merupakan bagian dari sitokrom oksidase. Disamping itu ia berfungsi sebagai kofaktor dari berbagai enzim, tetapi tidak mempunyai kekhususan yang tinggi. Devlin (1975) mengatakan bahwa Cu dalam jumlah yang sedikit dibutuhkan untuk metabolisme normal pada tanaman. Tembaga juga dibutuhkan dalam proses fotosintesis.

Tembaga terdapat di seluruh jaringan tumbuh-tumbuhan terutama dalam daun-daun hijau dan biji (Price, Clark, dan Funkhouser, 1972). Menurut Leiwakabessy (1988) kadar normal Cu dalam jaringan tanaman berkisar antara 5-20 ppm, sedangkan menurut Allaway (1968) berkisar antara 4-15 ppm.

Kisaran konsentrasi Cu dalam pucuk biasanya sedikit. Tetapi beberapa jenis tanaman dapat mengakumulasi Cu dalam jumlah yang banyak pada pucuk jika konsentrasi Cu di dalam tanah cukup tinggi (Rielly dalam Loneragan *et al.*, 1981).

Kehilangan tembaga dari tanaman dapat melalui beberapa cara, antara lain eksudasi akar, gutasi, dan pencucian (Lepp, 1981).



Tembaga diambil tanaman dalam bentuk ion Cu^{2+} dan juga dalam bentuk molekul kompleks organik. Bentuk-bentuk ini (garam Cu dan Cu kompleks) dapat juga diambil melalui daun (Leiwakabessy, 1988). Menurut Allaway (1968) kisaran Cu yang umum pada tanah adalah 20-100 ppm, sedangkan menurut Soepardi (1983) sebanyak 10-80 ppm.

Pergerakan Cu dari tanah ke dalam tanaman berbeda bagi setiap jenis tanaman (Rielly dalam Loneragan, Robson, dan Graham, 1981). Menurut Tisdale *et al.* (1985) pengambilan Cu oleh akar tanaman merupakan proses aktif. Hal ini disebabkan oleh sifat Cu yang immobil dalam tanah, sehingga mekanisme tanaman mengambil hara Cu terutama dengan intersepsi akar. Peningkatan pH tanah akan menurunkan mobilitas Cu, sehingga menurut Krauskopf (1972) pada keadaan tanah yang bereaksi masam konsentrasi dalam larutan tanah akan tinggi.

Menurut Khasawneh (1971) pengambilan ion oleh akar tanaman dipengaruhi oleh (1) konsentrasi atau aktivitas ion, (2) kapasitas tanah menyumbangkan ion, dan (3) intensitas relatif atau variasi komposisi ion. Menurut Barber (1984) aktivitas ion merupakan faktor utama pengambilan hara bila proses tersebut berlangsung aktif.

Setelah mencapai akar, Cu dapat segera ditranspor melalui sistem transpor xylem dan phloem (Lepp, 1981). Dalam tanaman Cu dibutuhkan untuk oksidasi dan reduksi.



Kekurangan dan Kelebihan Tembaga bagi Tanaman

Salah satu sifat umum dari unsur mikro ialah bahwa mereka diperlukan dalam jumlah sedikit dan dapat merusak bila dijumpai dalam jumlah banyak (Soepardi, 1983). Tembaga diperlukan sangat sedikit dan dalam jumlah besar dapat meracuni tanaman.

Defisiensi Cu pertama kali ditemukan oleh Mulder pada tahun 1932 pada tanaman yang diusahakan pada tanah organik yang baru dibuka di negeri Belanda (Sauchelli, 1969). Secara umum defisiensi Cu menyebabkan nekrosis pada ujung daun muda dan diteruskan sepanjang tepian daun, sehingga tanaman kelihatan layu. Pada kondisi yang berat, daun gugur dan seluruh tanaman kelihatan layu (Devlin, 1975). Menurut Chapman (1975) pada tahap awal defisiensi Cu umumnya belum memperlihatkan gejala patologi yang nyata selain penurunan produksi atau pertumbuhan. Pada tahap sedang sampai akut, gejala umum yang tampak adalah layu pada ranting atau titik tumbuh, kadang-kadang didahului oleh rosetting. Gejala Khusus defisiensi Cu tergantung pada spesies atau varietas tanaman dan tahap defisiensi.

Keracunan Cu pada tanaman ditunjukkan secara umum sebagai klorosis dan hambatan pertumbuhan. Kenyataan menunjukkan bahwa keracunan tembaga terjadi pada tanah berpasir dengan kandungan Fe yang rendah (Lepp, 1981). Keadaan umum keracunan Cu pada seluruh tanaman didasarkan



pada interaksi beberapa faktor. Efek utama Cu pada pertumbuhan berhubungan dengan kerusakan sistem perakaran. Tembaga dapat mempengaruhi mitosis, tetapi pengaruh spesifik dari Cu dapat dihubungkan dengan sensitivitas beberapa sistem enzim sebagai akibat kelebihan Cu. Mukherji dan Das Gupta (1972) menunjukkan peningkatan aktivitas katalase, IAA-oksidadase, dan peroksidase pada pembibitan selada, disebabkan oleh tingginya tingkat Cu, sebagai mekanisme untuk keracunan tembaga. Penelitian lebih intensif juga dilakukan pada pembibitan padi untuk melengkapi pengetahuan tentang keracunan tembaga (Lepp, 1981).

Menurut Mukherji dan Das Gupta (1972) dalam Lepp (1981) reduksi kandungan asam nukleat, khusus dalam embryo, reduksi aktivitas alpha-amilase dan RNase, dan reduksi aktivitas protease di dalam endosperma merupakan efek dari kelebihan tembaga.

Knezek dan Ellis (1980) mengatakan bahwa konsentrasi Cu dalam jaringan daun dewasa (mature) akan bersifat racun bila melebihi 20 ppm. Menurut Oplinger dan Ohlrogge (1974) lima ppm merupakan batas kritis kadar Cu dalam jaringan daun jagung. Pada tanaman serealiala gejala keracunan baru terlihat pada konsentrasi lebih besar dari 100 ppm (Purves, 1977).



Sumber dan Perilaku Chromium di Dalam Tanah

Chromium tersebar secara luas pada kerak bumi. Dalam kenyataannya di alam Cr terikat bersama-sama dengan kobalt, nikel, dan kadmium, dan menempati urutan keempat dalam kepentingannya di antara 29 elemen dalam siklus biologi. Chromium yang dianggap sebagai elemen esensial untuk manusia, terdapat dalam bahan-bahan alami dalam bentuk ikatan trivalen oksidasi. Bentuk utama Cr di alam adalah kromit dengan rumus kimia $(Fe, Mg)O(Cr, Al, Fe)_2O_3$. Kandungan tertinggi dari bijih Cr mengandung 52-56% chromium oksida dan 10-26% ferrous oksida. Teori terakhir mengatakan bahwa $FeOCr_2O_3$ mengandung 68% Cr-oksida dan 32% Fe-oksida. Bijih timah hitam, kromit ($PbCr_2O_3$) adalah sumber Cr lain yang mengandung sedikit Cr dan dalam areal yang terbatas di dunia. Chromium juga terdapat dalam jumlah kecil dalam beberapa mineral yang menggantikan Fe^{3+} dan Al^{3+} (oleh Cr^{3+}) seperti Cr-turmalin, Cr-garnet, Cr-mika, dan Cr-klorit. Warna hijau pada jamur disebabkan oleh pencampuran sejumlah kecil Cr pada tempat Al dalam beril (beryllium alumunium silikat). Kandungan logam dalam Cr-oksida pada korundum kristalin memberikan perbedaan warna pada batu delima (Faust dan Aly, 1981).

Perkembangan teknologi selama dua dekade terakhir ini telah menyebabkan peningkatan penggunaan Cr dan dianggap sebagai elemen yang penting. Metalurgi industri



menggunakan kurang lebih 57% dari bijih kromit yang penting yang digunakan untuk pembuatan peralatan penting dan industri kimia. Industri-industri ini menggunakan Cr dan menyebarkan sisanya melalui udara dan aliran air yang dapat menyumbangkan polutan terhadap lingkungan jika tidak dikontrol secara ketat (Faust dan Aly, 1981).

Menurut Emerrich *et al* (1982), Chang dan Broadbent (1982), Vergera *et al* (1985), Keefer, Singh, dan Horvath (1986) penambahan limbah ke dalam tanah pertanian dapat meningkatkan kandungan Cr di dalam tanah dan kadang-kadang dalam tanaman.

Konsentrasi Cr dalam kerak samudra berkisar antara 80-200 ppm dengan rata-rata 125 ppm. Di dalam tanah, konsentrasi Cr kurang lebih 5.32% di Puerto Rico dan di Amerika Serikat sebesar 37 ppm. Konsentrasi tertinggi Cr terdapat pada batuan beku ultramafik (1000-3400 ppm), dalam shale dan liat (30-590 ppm). Penggunaan fosforit sebagai pupuk merupakan sumber penting kontaminasi Cr terhadap tanah (Faust dan Aly, 1981).

Secara umum retensi ion oleh tanah menyebabkan defisiensi unsur, akan tetapi dapat mencegah kelebihan atau konsentrasi toksik di dalam larutan tanah. Ion-ion logam mikro dalam tanah mungkin merupakan kontaminan di dalam kristal atau amorfus gel dari ikatan ion. Keberadaan ion



kontaminan dalam kristal dapat disebabkan oleh ketersediaannya dalam larutan tanah (Bohn, McNeal, dan O'Connor, 1976).

Hidrooksida mengabsorpsi ion H^+ dalam larutan asam dan mengabsorpsi ion OH^- dalam larutan alkalin. Muatan permukaan berubah dari positif dalam larutan asam ke negatif dalam larutan alkalin. Hal ini merupakan keadaan dimana kapasitas tukar kation meningkat dengan peningkatan pH, meskipun sumbangan hidrooksida pada kapasitas tukar kation ini kecil pada tanah dengan pelapukan lanjut (Bohn *et al.*, 1976).

Ketersediaan, Serapan, dan Distribusi Chromium dalam Tanaman

Chromium merupakan salah satu unsur esensial dalam siklus biologi dari tanah - tanaman - hewan. Perkembangan ilmu pengetahuan sekarang menambahkan bahwa Cr merupakan unsur esensial untuk manusia dan hewan (Allaway, 1968). Menurut Bohn *et al.* (1976) Cr merupakan unsur esensial untuk hewan.

Secara umum unsur mikro meningkat ketersediaannya sesuai dengan penurunan kemasaman tanah. Akan tetapi keberadaan anion Mo, Cr, dan kadang-kadang B ketersediaannya meningkat dengan peningkatan pH (Bohn *et al.*, 1976).

Pada tanah masam secara umum unsur mikro terdapat dalam konsentrasi yang tinggi, bahkan kadang-kadang



menimbulkan keracunan. Dalam jumlah kecil unsur mikro dibutuhkan tanaman dan diserap dalam porsi yang kecil dari zone perakaran (Bohn *et al.*, 1976).

Waktu juga mempengaruhi ketersediaan Cr di dalam tanah. Waktu juga mempengaruhi difusi ion Cr pada sisi liat yang daya jerapnya lebih kuat, untuk bergabung ke dalam amorfus dan kristal padat. Waktu juga menambah umur tanah dengan pengecilan fase padat dan pengurangan reaktivitas partikel tanah (Bohn *et al.*, 1976).

Kontaminasi tanah oleh elemen toksik umumnya merupakan hasil aktivitas manusia. Valensi Cr yang umum terdapat pada tanah adalah Cr^{3+} dan Cr^{4+} . Secara alami kandungan Cr dalam tanah adalah : (1) total, 5-1000 ppm dan (2) larutan tanah, 0.001 ppm (Bohn *et al.*, 1976).

Chromium (IV) dalam tanah berbentuk anion dan mobil pada aerasi tanah yang baik dan menurun pada pH tinggi. Meskipun CrO_4^{-2} merupakan oksidator yang kuat dan mudah direduksi pada konsentrasi yang tinggi, CrO_4^{-2} lebih stabil pada pH tinggi dan konsentrasinya menipis pada larutan tanah (Bohn *et al.*, 1976).

Selain dalam bentuk anion Cr juga berada dalam tanah dalam bentuk Cr-kelat. Bentuk kelat ini kurang stabil dibandingkan dengan Fe-kelat untuk ligan yang sama. Penambahan Cr-kelat ke dalam tanah akan meningkatkan



kepekatan Cr dalam larutan tanah yang hanya merupakan fungsi waktu saja (Allaway, 1968). Peningkatan jumlah Cr dalam rantai makanan mulai dari tanah ke tanaman harus ditangani dengan serius dan secara praktis mudah dilakukan (Allaway, 1968).

Chromium diakumulasi dalam jumlah besar pada pucuk tanaman lobak dengan konsentrasi di atas 2 miligram per kilogram dan dalam jumlah lebih kecil pada tanaman jagung manis. Unsur ini tidak memegang peranan penting meskipun diserap oleh banyak tanaman. Umumnya, peningkatan serapan Cr-trivalen dapat membahayakan kesehatan (Keefer *et al.*, 1986).

Menurut Allaway (1968) konsentrasi normal Cr dalam makanan baik makanan hewani maupun nabati berkisar antara 0.03-1 ppm. Dalam kisaran konsentrasi ini Cr dibutuhkan baik oleh manusia maupun oleh hewan.

Kekurangan dan Kelebihan Chromium pada Manusia dan Hewan

Chromium merupakan elemen esensial dan merupakan bagian dari glucose tolerance factor. Gejala gangguan metabolisme glukosa dalam diabetes militus orang dewasa disebabkan oleh defisiensi Cr pada makanannya (Allaway, 1968).

Pengaruh toksik dari Cr tergantung pada valensinya. Hanya Cr-heksavalen yang diketahui toksik, tetapi



Cr-trivalen tidak toksik. Pengaruh toksik dari Cr adalah mempengaruhi kesehatan kulit dan sistem pernapasan. Bentuk Cr-heksavalen ditemukan pada asam kromik, Na dan K-kromat, dan dikromat yang diketahui menyebabkan borok pada kulit dan sekat lubang hidung pada para pekerja yang memproduksi bahan-bahan kimia di atas. Pengaruh toksik dari Cr-heksavalen dipengaruhi oleh potensial oksidasi dan permeabilitas membran. Interaksi biologi dari Cr-heksavalen dihasilkan sewaktu reduksi ke Cr-trivalen, yang membentuk ikatan kompleks dengan molekul organik. Perubahan Cr-heksavalen ke bentuk cr-trivalen dipercepat oleh methionin, cystine, dan cysteine. Bentuk Cr-trivalen merupakan penyusun protein kompleks dan mencirikan kepekaannya (Faust dan Aly, 1981).

Chromium heksavalen dapat menyebabkan kanker pada sistem pernapasan dan peningkatan resiko kanker paru-paru. Di lain pihak, defisiensi Cr pada makanan atau air minum atau udara dapat mengurangi resiko kanker (Faust dan Aly, 1981).

Konsentrasi sebesar 5 miligram per liter pada air minum ditemukan terakumulasi pada tikus besar (rat), dan tidak mengganggu kecepatan pertumbuhannya. Keadaan ini tidak berubah dengan penambahan konsentrasi Cr(IV) sampai konsentrasi di atas 25 miligram per liter. Untuk air minum manusia, U.S. Environmental Protection Agency



menetapkan kandungan maksimum Cr sebesar 0.05 miligram per liter (Faust dan Aly, 1981).

Sumber dan Perilaku Timah Hitam (Pb) dalam Tanah

Timah hitam tersebar secara luas dalam kerak bumi dan ditemukan di atmosfer dan hidrosfir. Timah hitam (Pb) ditemukan di alam terutama dalam bentuk senyawa sulfida (galena). Bentuk lain dari senyawa Pb adalah Pb-karbonat, Pb-sulfat, dan Pb-klorofosfat (Faust dan Aly, 1981).

Konsentrasi alami Pb dalam tanah berkisar dari 2-200 ppm khusus di daerah-daerah dekat lokasi bijih Pb. Konsentrasi yang tertinggi pada tanah ditambah pula oleh aktivitas manusia yang merupakan sumber lain keberadaan Pb dalam tanah, seperti industri peleburan, debu radioaktif, operasi industri, dan kendaraan bermotor (Faust dan Aly, 1981). Menurut Bohn *et al.* (1976) kontaminasi tanah oleh Pb berasal dari peleburan, limbah industri dan rumah tangga, pestisida, dan asap kendaraan bermotor. Menurut Lisk (1972) Pb berasal dari asap kendaraan bermotor, pipa air, kandungan dalam makanan, insektisida, beberapa tembikar, dan asap rokok. Lagerwerff (1972) dalam Mortvedt, Giordano, dan Lindsay (1972) menambahkan bahwa sumber Pb dalam tanah meliputi cadangan di udara yang terbawa hujan, air irigasi, drainase utama, penebalan pada daun, pestisida, dan hancuran iklim dari Red Sandstone dan



sedimen dari tanah pertanian. Besarnya kandungan Pb pada kerak bumi rata-rata sebesar 16 ppm. Menurut Koeppe dalam Lepp (1981) konsentrasi tertinggi dari Pb terdapat di pinggiran jalan raya sebagai akibat dari pembakaran bahan bakar oleh kendaraan bermotor, tanah pertanian yang mendapat perlakuan limbah, dan lokasi deposit bijih Pb, peleburan, penambangan, dan oprasi industri, dan tanah pertanian yang mendapat perlakuan pestisida secara intensif. Chang dan Broadbent (1982); Emerrich *et al.* (1982); Chang, Page, Warneke, dan Johanson (1982); Singh dan Narwal (1984); Vergera *et al.* (1985); Keefer *et al.* (1986); Elliot dan Linn (1987), dan Chu dan Wong (1987) melakukan percobaan pemberian limbah ke dalam tanah dan menunjukkan adanya peningkatan kadar Pb dalam tanah dan tanaman.

Pada setiap keadaan, konsentrasi Pb dalam tanah menurun dengan bertambahnya jarak dari sumber pencemaran (Mortvedt *et al.* 1972). Kelarutan Pb dalam tanah dipengaruhi oleh nilai pH tanah (Lisk, 1972). Konsentrasi alami Pb dalam tanah berkisar antara 2-200 ppm dengan nilai tipikalnya sebesar 10 ppm, dalam larutan tanah sebesar 0.001 ppm (Bohn *et al.* 1976).

Pengkayaan Pb dalam tanah karena kontaminasi dari berbagai sumber terkumpul di lapisan permukaan tanah.



Dengan waktu Pb ini akan dikonversi ke bentuk yang kurang larut dan bahkan mungkin hilang sebagai halida dengan asosiasi terhadap anion sulfat, karbonat, atau fosfat dan dengan bahan organik (Mortvedt *et al.* 1972).

Timah hitam yang dikelat oleh bahan organik rendah ketersediaannya bagi tanaman. Kebanyakan Pb^{2+} sangat kuat oleh partikel tanah di permukaan menyebabkan kadar Pb tinggi di permukaan dari pada di horison yang lebih dalam (Mortvedt *et al.* 1972).

Ketersediaan, Serapan, dan Distribusi Timah Hitam dalam Tanah

Di dalam tanah Pb berada sebagai Pb^{2+} dan Pb^{4+} (Bohn *et al.* 1976). Sebagian besar Pb tidak tersedia bagi tanaman. Seperti halnya dengan kation logam beracun lainnya, timah hitam sangat tidak larut dalam tanah, terutama bila tanah tidak terlalu masam. Sebagian besar Pb ditemukan pada lapisan permukaan, suatu petunjuk bahwa hampir tidak ada pergerakan ke bawah. Pengapuran tanah mengurangi ketersediaan Pb dan penyerapannya oleh tanaman (Soepardi, 1983)

Menurut Bohn *et al.* (1976) Pb kurang responsif terhadap perubahan tingkat pH tanah dibandingkan dengan kation lain. Akan tetapi Lagerwerff dalam Mortvedt *et al.* (1972) menyebutkan bahwa kadar Pb dalam tanah berbanding terbalik dengan pH.



Timah hitam tersedia bagi tanaman berasal dari tanah dan debu aerosol. Serapan aktual dan penggabungannya dalam tanaman dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan. Kandungan Pb dalam tanaman merupakan pencerminan tingkat kerugian dari ketersediaan Pb dalam siklus biologi. Bentuk kimia Pb seperti pengaruhnya pada tanaman merupakan bentuk kritikal yang penting dan merupakan faktor yang mempengaruhi pergerakannya ke dalam tanaman, translokasi, dan toksisitasnya dalam tanaman (Lepp, 1981).

Di dalam tanah Pb terikat dalam bahan organik atau partikel koloid atau dalam bentuk presipitat yang mengurangi serapannya oleh akar tanaman melalui proses konvensional yang meliputi pergerakan ionik dari larutan tanah (Lepp, 1981). Peningkatan kapasitas tukar kation dan penambahan bahan organik ke dalam tanah dapat menurunkan serapan Pb oleh tanaman (Zimdahl dan Koeppe, 1977); Liebhardt dan Koske, 1974 dalam Lepp (1981). Menurut Hasset penambahan pupuk P ke dalam tanah juga mengurangi ketersediaan Pb bagi tanaman.

Di samping dari ketersediaan yang rendah untuk tanaman, pergerakan dan translokasi Pb akar atau rambut akar dipengaruhi oleh sejumlah faktor biokimia dan proses fisik yang meliputi ikatan, inaktivasi, dan presipitasi Pb (Lepp, 1981).

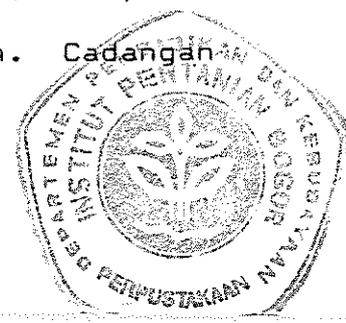


Menurut Lagerwerff dalam Mortvedt *et al.* (1972) peningkatan pH tanah dan aktivitas Ca^{2+} dapat menurunkan kemampuan fisiologis akar tanaman untuk menyerap Pb. Penyerapan Pb oleh akar tanaman lobak berkurang dengan peningkatan pH dari 5.9 sampai 7.2.

Timah hitam diserap tanaman melalui akar dan daun. Di dalam tanaman Pb terdapat dalam membran sel, mitokondria, dan kloroplast (Sabnis, Gordon, dan Galston, 1969 dalam Mortvedt *et al.*, 1972)., Tendler dan Solari (1969) dalam Lepp (1981) menemukan Pb-ortofosfat dalam nukleolus akar bawang bakung secara fiksasi.

Faktor-faktor lingkungan, umur, dan spesies tanaman merupakan faktor yang sangat penting dalam kemampuan tanaman menyerap Pb (Koepe, 1981). Menurut Judel dan Stelte dalam Koepe (1981) total konsentrasi Pb dalam tanaman tidak akan melebihi 3.4 mikrogram per gram bobot kering. Pada percobaannya yang lain, menunjukkan bahwa tanaman lobak, wortel, dan bayam yang ditanam dengan konsentrasi Pb sebesar 500 mikrogram per gram tanah masih mampu menyerap Pb tanpa mengurangi hasil atau bahkan tidak menunjukkan adanya gejala keracunan. Menurut Allaway (1968) kisaran konsentrasi Pb yang umum pada tanaman adalah 0.1 sampai 10 ppm.

Zimdahl dan Koepe (1977) dalam Lepp (1981) menyatakan adanya serapan Pb oleh tanaman melalui daun. Cadangan



debu dari asap kendaraan bermotor dapat diakumulasikan dalam kutikula daun tanaman.

Menurut Allaway (1968) penambahan larutan garam Pb ke dalam tanah memberikan efek yang kecil terhadap konsentrasi Pb pada bagian atas tanaman, untuk waktu yang sama pada tanah yang berbeda, juga partikel Pb di udara tidak merupakan faktor yang mempengaruhi produksi tanaman pada konsentrasi Pb tanah yang berbeda-beda.

Pergerakan Pb jelas sekali dalam fungsi metabolisme pada akar tanaman. Timah hitam bergerak sebagai ion atau kelat kompleks. Keberadaan kelat meningkatkan serapan Pb oleh tanaman (Lepp, 1981). Kelat Pb masuk ke dalam akar pada zone rambut akar yang pendek, kemudian pergerakannya dibatasi oleh endodermis akar untuk menghalangi kelat Pb masuk ke dalam aliran transpirasi. Sekali Pb masuk ke dalam aliran transpirasi, Pb ini akan bergerak secara pasif mengikuti aliran transpirasi sebelum dideposisikan pada permukaan evaporasi dalam daun.

Pengaruh Timah Hitam pada Manusia

Timah hitam (Pb) bersama-sama dengan Cr, Ni, Cd, dan Hg adalah unsur-unsur yang beracun bagi organisme (Bohn *et al.*, 1976). Tidak ditemukan esensialitas Pb baik bagi tanaman, hewan, maupun manusia (Faust dan Aly, 1981).

Timah hitam masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernapasan dan makanan. Timah hitam ini diserap dan diangkut oleh darah kemudian diakumulasikan dalam hati, ginjal, tulang, limpa, pankreas, dan paru-paru. Pada tingkat selular Pb terkonsentrasi pada nukleus, mitokondria, dan mikrosom. Timah hitam dikeluarkan dari tubuh bersama urine, feses, air liur, keringat, dan rambut (Lagerwerff dalam Mortvedt, 1972).

Keracunan Pb pada manusia dimulai dengan sawan dan anemia, kemudian diikuti oleh penyakit saraf, encok, nepritis kronis, radang otak, dan kematian (Lagerwerff dalam Mortvedt *et al.*, 1972). Sedangkan menurut Faust dan Aly (1981) keracunan Pb menyebabkan kerusakan permanen pada tubuh yang diikuti oleh kematian.

Tanaman Bayam (Amaranthus sp.)

Keluarga bayam-bayaman terdiri dari 800 spesies yang tergabung dalam 60 genera. Semuanya merupakan tanaman herba semusim. Dalam pertumbuhannya tanaman bayam memerlukan banyak air dan penyinaran matahari secara penuh.

Ciri-ciri tanaman bayam adalah : tanaman semusim, berumah satu atau dua, daun biasanya berselang-seling, mempunyai tiga sampai lima bracteoles tiap daun, dan mempunyai 2 sampai 3 bentuk stigma.



Komposisi nilai gizi bayam adalah kalori protein 25-35%, sejumlah kecil lipid, karbohidrat agak kaya dalam bentuk selulosa, protein, mineral, dan vitamin. Kandungan air tanaman bayam berbeda-beda menurut spesies (Grubben, 1976).



BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kebun percobaan agronomi Cikabayan, Laboratorium Jurusan Tanah Faperta IPB, Laboratorium Sub Bagian Zat Hara Kelompok Fisiologi BPTP Bogor, dan Laboratorium P₄L Jakarta sejak bulan Januari sampai Oktober 1990.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat penelitian meliputi alat-alat lapang dan alat laboratorium. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah industri pabrik aki GS, Jakarta. Sebagai tanaman indikator digunakan tanaman bayam (Amaranthus sp.). Bahan lain meliputi kapur, pupuk dasar, bahan organik, dan pestisida.

Metode Penelitian

Analisis Pendahuluan

Analisis pendahuluan meliputi analisis sifat fisik dan kimia tanah dan limbah serta analisis kandungan logam berat pada tanah dan limbah.

Analisis sifat kimia tanah meliputi pH H₂O, pH KCl, C-organik, N-total, P-tersedia, KTK dan basa-basa dapat ditukar (K, Na, Ca, dan Mg), Al-dd, dan H-dd. Analisis ini dilakukan pada tanah sebelum mendapat perlakuan.

Analisis sifat kimia limbah meliputi pH H₂O, pH KCl, C-organik, N-total, S-tersedia, P-tersedia, rasio C/N, KTK dan basa-basa dapat ditukar, Al-dd, H-dd, Fe-tersedia, Mn-tersedia, dan Zn-tersedia. Sedangkan analisis sifat fisik limbah meliputi tekstur dan air tersedia (KA).

Analisis sifat fisik tanah meliputi Bulk Density, porositas, pF, pori drainase, air tersedia, permeabilitas dan tekstur tanah.

Analisis kandungan logam berat meliputi Cu, Cr, dan Pb yang dilakukan pada tanah dan limbah. Hasil analisis pendahuluan disajikan pada tabel lampiran 1, 2 dan 3.

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode erosi dengan panjang petak 11 meter dan lebar 1 meter. Masing-masing petak erosi dilengkapi dengan bak penampung sedimen dan air.

Sebelum penanaman terlebih dahulu dilakukan pengapuran untuk menaikkan pH dari 5.0 menjadi 6.0 yang dilakukan secara sebar. Bahan organik (kotoran ayam) diberikan dua minggu sebelum tanam. Pada waktu yang sama limbah juga diberikan dengan dosis 5% (sebanyak 110 kilogram berat basah). Bahan-bahan ini diinkubasi selama dua minggu.



Pengambilan contoh tanah dilakukan setelah inkubasi dua minggu, pada bagian atas, tengah, dan bawah lereng. Contoh tanah ini digunakan untuk mengetahui kandungan logam berat setelah inkubasi dua minggu.

Penanaman bayam dilakukan secara baris memotong lereng dan searah kontur dengan jarak antar baris 0.5 meter. Penanaman ini dilakukan secara rapat pada masing-masing baris. Panen bayam dilakukan pada umur tiga minggu setelah tanam.

Untuk mengetahui kandungan logam berat pada tanah setelah panen bayam dilakukan pengambilan contoh tanah dengan cara dan jumlah yang sama seperti pada pengambilan contoh tanah setelah inkubasi dua minggu. Contoh sedimen di ambil dari bak penampungan untuk mengetahui logam berat yang hilang bersama erosi.

Pengamatan dan Pengukuran

Pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman melalui parameter tinggi tanaman dan jumlah daun dilakukan setiap minggu. Sedangkan pengamatan terhadap produksi tanaman dilakukan pada saat panen. Selama masa penelitian dilakukan juga pengukuran terhadap suhu udara lingkungan, curah hujan, dan perubahan pH tanah.

Untuk pengukuran kandungan logam berat pada tanah, tanaman, dan sedimen digunakan alat Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).



Analisis Statistik

Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan split-split plot. Kemiringan lereng merupakan petak utama, cara penempatan limbah merupakan anak petak, dengan tiga ulangan. Kemiringan lereng meliputi 0-3% (K_0), 3-8% (K_1), dan 8-15% (K_2). Penempatan limbah meliputi perlakuan tanpa limbah (L_0), limbah sebar (L_1), dan limbah benam (L_2). Penempatan limbah secara benam dilakukan secara baris memotong lereng dengan jarak 0.5 meter. Uji statistik adalah uji rata-rata nilai tengah.

Model statistik yang digunakan adalah :

$$Y_{ijk} = u + p_i + A_j + B_{ij} + C_k + (AB)_{jk} + E_{ijk}$$

dimana :

Y_{ijk} = pengamatan pada kelompok ke-i, kemiringan lereng ke-j, aplikasi ke-k

u = rata-rata umum

p_i = pengaruh kelompok ke-i

A_j = pengaruh kemiringan lereng ke-j

B_{ij} = galat pada kelompok ke-i, kemiringan lereng

C_k = pengaruh cara aplikasi ke-k

$(AB)_{jk}$ = pengaruh interaksi antara kemiringan lereng ke-j, cara aplikasi limbah ke-k

E_{ijk} = galat pada kelompok ke-i, kemiringan lereng ke-j, cara aplikasi limbah ke-k

HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah Industri

Analisis sifat fisik limbah industri hanya dilakukan terhadap tekstur dan kadar air tersedia limbah (Tabel Lampiran 1). Hasil analisis menunjukkan bahwa tekstur limbah tergolong sedang sampai halus dengan proporsi pasir sebesar 4.2%, debu sebesar 70.6%, dan liat sebesar 25.2%. Tekstur limbah yang demikian menyebabkan tingginya daya jerap limbah terhadap air. Hal ini ditunjukkan oleh kadar air tersedia di dalam limbah tergolong sangat tinggi, sebesar 269.0% (Tabel Lampiran 1).

Limbah industri memiliki sifat kimia yang cukup baik seandainya logam berat yang dikandungnya tidak membatasi penggunaannya untuk bidang pertanian. Hal ini terlihat jelas dari kandungan unsur-unsur hara yang cukup tinggi di dalam limbah. Tingkat kemasaman limbah tergolong alkalin dengan nilai pH 8.7. Hal ini sangat berkaitan dengan kandungan basa-basanya yang cukup tinggi (Tabel Lampiran 2), Ca sebesar 77.6, Mg sebesar 5.3, K sebesar 0.4 dan Na sebesar 2.1 me/100 gram limbah. Di samping itu limbah juga mengandung unsur hara yang tinggi, P-tersedia sebesar 19.0, Fe-tersedia sebesar 59.9, dan Mn-tersedia sebesar 47.8 ppm. Akan tetapi kandungan bahan organik dan N-total pada limbah tergolong sangat rendah sebagai akibat dari

tidak terlibatnya bahan organik pada proses industri pembuatan aki.

Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya erosi tanah. Menurut Arsyad (1980) semakin curam gradien kemiringan lereng semakin besar erosi yang terjadi. Sehubungan dengan kehilangan logam berat maka kemiringan lereng akan menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi. Selain itu, penanaman bayam pada penelitian ini juga akan mempengaruhi besarnya erosi tanah. Oleh sebab itu pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan kehilangan logam berat antara petak dengan dan tanpa tanaman bayam.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kehilangan logam berat terbesar terjadi pada kemiringan lereng 8-15%. Serapan Pb, pertumbuhan, dan produksi tanaman tertinggi diperoleh pada kemiringan lereng 0-3%. Hal ini menunjukkan besarnya pengaruh erosi tanah terhadap kehilangan unsur-unsur dari dalam tanah.

Penanaman bayam menyebabkan terjadinya peningkatan konsentrasi logam berat dalam sedimen. Secara praktikal penanaman bayam akan menurunkan besarnya erosi total. Penurunan ini diimbangi oleh peningkatan konsentrasi logam berat dalam sedimen.



Cara Penempatan Limbah

Cara penempatan limbah yang digunakan pada penelitian ini meliputi perlakuan tanpa limbah, perlakuan limbah sebar, dan perlakuan limbah benam. Perlakuan tanpa limbah digunakan sebagai pembandingan bagi perlakuan pemberian limbah. Perlakuan limbah sebar didasarkan pada kenyataan praktikal yang dijumpai di Lokasi Pembuangan Akhir Limbah. Sedangkan perlakuan limbah benam dimaksudkan sebagai pembandingan perlakuan limbah sebar dalam hal kehilangan dan serapan logam berat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kehilangan logam berat terbesar terjadi pada penempatan limbah secara sebar. Serapan Pb, pertumbuhan, dan produksi tertinggi diperoleh pada penempatan limbah secara benam. Hal ini berhubungan dengan proses erosi. Penempatan limbah secara sebar memudahkan terjadinya penyebaran oleh aliran permukaan dan erosi. Penempatan limbah secara benam akan melindungi limbah dari proses penghancuran dan pengangkutan oleh aliran permukaan dan erosi.

Kandungan Logam Berat pada Tanah dan Limbah Sebelum Perlakuan

Dalam Tanah

Konsentrasi logam berat di dalam tanah tergolong rendah, yaitu sebesar 2.8 ppm untuk Cu, 2.0 ppm untuk Cr, dan 5.9 ppm untuk Pb (Tabel Lampiran 3). Masing-masing



logam berat ini konsentrasinya masih berada dalam kisaran yang umum dijumpai dalam tanah (Tabel Lampiran 6).

Logam-logam berat yang terkandung dalam limbah semuanya berasal dari bahan induk tanah. Hnacuran iklim selama pembentukan tanah menyebabkan logam-logam berat dari bahan induk tanah terlarut kedalam tanah.

Dalam Limbah

Logam berat yang terkandung dalam limbah menunjukkan angka yang cukup tinggi, yaitu sebesar 71.0 ppm untuk Cu, 169.0 untuk Cr, dan 8292.0 ppm untuk Pb (Tabel Lampiran 3). Timah hitam (Pb) merupakan unsur yang terkandung paling tinggi dalam limbah. Hal ini disebabkan oleh penggunaan Pb dalam industri pembuatan aki.

Keberadaan Cu dan Cr dalam limbah merupakan suatu petunjuk bahwa Pb yang digunakan dalam industri pembuatan aki bukan Pb murni. Selain itu mesin-mesin yang digunakan mengalami keausan yang menghasilkan serbuk. Serbuk ini selanjutnya terbuang bersama limbah.

Kandungan Logam Berat Dalam Tanah Setelah Inkubasi Dua Minggu

Pengamatan logam berat dalam tanah setelah inkubasi dua minggu dilakukan terhadap kombinasi perlakuan, yaitu kombinasi antara kemiringan lereng dan cara aplikasi limbah (Tabel Lampiran 6). Penambahan limbah ke dalam



tanah meningkatkan kandungan logam berat di dalam tanah (Tabel Lampiran 6), akan tetapi karena sifat heterogen dari limbah menyebabkan terjadinya variasi konsentrasi logam berat dalam tanah.

Peningkatan konsentrasi Cu dan Cr di dalam tanah tidak setinggi peningkatan konsentrasi Pb. Kisaran konsentrasi Cu dalam tanah tanpa perlakuan limbah berada antara 3.0 sampai 3.2 ppm. Perlakuan limbah sebar meningkatkan konsentrasi Cu dengan kisaran antara 3.4 sampai 5.3 ppm. Sedangkan perlakuan limbah benam meningkatkan konsentrasi Cu dengan kisaran 3.2 sampai 3.7 ppm. Dari ketiga perlakuan limbah ini ternyata perlakuan limbah sebar merupakan perlakuan yang menyebabkan terjadinya peningkatan konsentrasi Cu yang paling tinggi. Hal ini berhubungan dengan kemudahan kelarutan Cu dari limbah karena proses fisik, yaitu tumbukan langsung curah hujan terhadap limbah di permukaan tanah.

Konsentrasi Cr dalam tanah meningkat lebih tajam daripada konsentrasi Cu. Konsentrasi Cr tanpa perlakuan limbah berkisar antara 0.5 sampai 0.8 ppm, pada perlakuan limbah sebar berkisar antara 1.0 sampai 2.7 ppm, dan pada perlakuan limbah benam berkisar antara 1.2 sampai 3.7 ppm. Peningkatan tertinggi konsentrasi Cr dalam tanah terjadi pada aplikasi limbah secara benam. Kecilnya peningkatan konsentrasi Cu dan Cr dalam tanah disebabkan oleh

rendahnya kandungan logam berat Cu dan Cr dalam limbah dibandingkan dengan kandungan Pb.

Peningkatan konsentrasi Pb dalam tanah akibat penambahan limbah menunjukkan angka yang cukup tinggi. Hal ini terjadi pada perlakuan limbah sebar dan benam, sedangkan pada perlakuan tanpa limbah konsentrasi Pb dalam tanah tidak menunjukkan angka yang terlalu bervariasi. Pada perlakuan tanpa limbah konsentrasi Pb berkisar antara 3.4 sampai 5.5 ppm, pada perlakuan limbah sebar berkisar antara 15.7 sampai 89.3 ppm, dan pada perlakuan limbah benam berkisar antara 30.9 sampai 74.1 ppm. Tingginya konsentrasi Pb dalam tanah ini disebabkan oleh tingginya kandungan Pb dalam limbah.

Secara umum konsentrasi logam berat dalam tanah semuanya berada antara konsentrasi umum yang dijumpai pada larutan tanah dengan konsentrasi totalnya di dalam tanah (Tabel lampiran 6). Tinggi rendahnya konsentrasi logam berat dalam tanah dipengaruhi oleh perubahan pH tanah. Setelah inkubasi dua minggu pH tanah pada semua perlakuan pemberian limbah mengalami peningkatan (Tabel Lampiran 5). Tingkat kemasaman (pH) tanah ini mempunyai nilai yang lebih rendah, 7.0, daripada pH limbah itu sendiri, 8.7 (Tabel Lampiran 2). Pada pH yang lebih rendah ini memungkinkan terjadinya proses pelepasan logam-logam berat ke



dalam tanah sehingga konsentrasi Cu, Cr, dan Pb di dalam tanah mengalami peningkatan.

Selama penelitian berlangsung pH tanah terus mengalami penurunan meskipun tidak drastis (Tabel Lampiran 5). Penurunan ini meningkatkan kelarutan logam-logam berat dari limbah ke dalam tanah sehingga akan menambah kepekaan logam berat dalam tanah dan meningkatkan ketersediaannya bagi tanaman.

Kehilangan Logam Berat melalui Erosi

Pengamatan kehilangan logam berat dari tanah akibat proses erosi dilakukan terhadap konsentrasi logam berat dalam sedimen. Pengamatan juga dilakukan untuk membandingkan konsentrasi logam berat dalam sedimen dari petak dengan dan tanpa tanaman bayam. Pemilahan ini didasarkan pada kenyataan bahwa besarnya erosi tanah selain dipengaruhi oleh gradien kemiringan lereng juga dipengaruhi oleh kehadiran vegetasi pada permukaan tanah. Hal ini berlaku untuk sifat-sifat hujan, sifat-sifat tanah, dan perlakuan yang sama.

Dengan Tanaman Bayam

Analisis logam berat Cu dalam sedimen tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada masing-masing kemiringan lereng maupun cara penempatan limbah (Tabel 1 dan 2). Hal ini disebabkan oleh rendahnya kandungan Cu dalam tanah

baik pada perlakuan tanpa limbah maupun perlakuan pemberian limbah.

Konsentrasi Cu tertinggi dalam sedimen diperoleh pada kemiringan lereng 3-8%, yaitu sebesar 41.5 ppm, diikuti oleh kemiringan lereng 8-15% dan 0-3%, masing-masing sebesar 5.7 dan 4.4 ppm (Tabel 1). Pada perlakuan pemberian limbah konsentrasi Cu tertinggi diperoleh pada penempatan limbah secara benam, sebesar 26.7 ppm, kemudian penempatan limbah secara sebar, sebesar 19.4 ppm, dan terakhir pada perlakuan tanpa limbah, sebesar 5.5 ppm (Tabel 2). Variasi konsentrasi Cu ini disebabkan oleh sifat heterogen dari limbah.

Pengamatan terhadap kandungan Cr dalam sedimen tidak menunjukkan perbedaan nyata pada semua kemiringan lereng dan perlakuan pemberian limbah (Tabel 1 dan 2). Meskipun tidak berbeda nyata, pemberian limbah ke dalam tanah meningkatkan kandungan Cr dalam tanah sehingga kandungannya dalam sedimen juga meningkat. Akan tetapi karena rendahnya kandungan Cr dalam limbah menyebabkan kandungannya dalam sedimen juga rendah.

Konsentrasi Cr tertinggi dalam sedimen terjadi pada kemiringan lereng 3-8% diikuti oleh kemiringan lereng 8-15% dan 0-3%, masing-masing sebesar 2.6, 2.2, dan 1.7 ppm (Tabel 1). Sedangkan pada perlakuan pemberian limbah



konsentrasi Cr menurun berturut-turut dari perlakuan limbah sebar, diikuti oleh limbah benam, dan terakhir perlakuan tanpa limbah, masing-masing sebesar 3.4, 2.6, dan 0.4 ppm (Tabel 2). Seperti halnya konsentrasi Cu dalam sedimen, konsentrasi Cr juga bervariasi. Akan tetapi variasi konsentrasi Cr menunjukkan pola yang lebih teratur pada perlakuan pemberian limbah. Variasi konsentrasi Cr juga disebabkan oleh sifat heterogen dari limbah.

Tabel 1. Rata-rata Kandungan Logam Berat Dalam Sedimen pada Tiga Kemiringan Lereng dengan dan tanpa Tanaman Bayam

Logam Berat	Kemiringan Lereng (%)					
	Dengan Tanaman Bayam			Tanpa Tanaman Bayam		
	0-3	3-8	8-15	0-3	3-8	8-15
ppm.....					
Cu	4.4 a	41.5 a	5.7 a	4.4	4.8	4.5
Cr	1.7 a	2.6 a	2.2 a	1.2	0.8	2.4
Pb	75.3 a	74.2 a	93.6 a	43.3	67.3	44.7

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata untuk baris (logam berat) yang sama

Timah hitam merupakan unsur yang terdapat paling tinggi dalam tanah (Tabel Lampiran 4). Tingginya kandungan Pb dalam tanah menyebabkan tingginya kandungan Pb dalam sedimen (Tabel 1 dan 2). Menurut uji statistik kemiringan lereng tidak menyebabkan perbedaan nyata terhadap kandungan Pb dalam sedimen sedangkan cara penempatan limbah memberikan perbedaan yang nyata.

Tabel 2. Rata-rata Kandungan Logam Berat Dalam Sedimen pada Tiga Penempatan Limbah dengan dan tanpa Tanaman Bayam

Logam Berat	Penempatan Limbah					
	Dengan Tanaman Bayam			Tanpa Tanaman Bayam		
	t1	ls	lb	t1	ls	lb
ppm.....					
Cu	5.5 a	19.5 a	26.7 a	4.8	3.9	5.2
Cr	0.4 a	3.5 a	2.6 a	0.5	2.2	1.6
Pb	45.0 a	132.9 b	65.1 a	18.7	95.0	41.7

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata untuk baris (logam berat) yang sama
 BNT0.05 untuk Pb = 23.9
 t1 = tanpa limbah, ls = limbah sebar, lb = limbah benam

Konsentrasi tertinggi Pb dalam sedimen diperoleh pada kemiringan lereng lereng 8-15%, diikuti kemiringan lereng 0-3 dan 3-8%, masing-masing sebesar 93.6, 75.3, dan 74.2 ppm (Tabel 1). Tingginya konsentrasi Pb dalam sedimen pada kemiringan 8-15% disebabkan oleh tingginya konsentrasi Pb dalam tanah (Tabel Lampiran 6).

Konsentrasi Pb terbesar terjadi pada penempatan limbah secara sebar, diikuti oleh penempatan limbah secara benam dan tanpa limbah, masing-masing sebesar 132.9, 65.1, dan 45.0 ppm (Tabel 2). Hal ini disebabkan oleh kemudahan kelarutan dari ion-ion Pb dengan bantuan energi kinetis air hujan. Ion-ion Pb ini akan terikat pada partikel-partikel tanah, kemudian terangkut bersama aliran permukaan dan erosi sehingga terjadi pengkayaan Pb pada sedimen.

Tanpa Tanaman Bayam

Konsentrasi logam berat dalam sedimen dari petak dengan tanaman bayam lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasinya dari petak tanpa tanaman bayam (Tabel 1 dan 2). Penanaman bayam secara praktikal akan menurunkan besarnya erosi total. Penurunan ini akan diimbangi oleh membesarnya konsentrasi logam berat dalam sedimen. Hal ini berarti bahwa konsentrasi logam berat dalam sedimen nilainya berbanding terbalik dengan besarnya erosi total.

Penanaman bayam akan membentuk kanopi yang menutupi permukaan tanah. Penutupan ini akan meredam dan menurunkan besarnya energi kinetis air hujan yang jatuh di permukaan bumi. Hal ini akan mengurangi daya perusak air hujan terhadap tanah dan mengurangi daya kikis aliran permukaan yang terjadi setiap kejadian hujan. Akibatnya, hanya partikel-partikel halus tanah yang terangkut bersama aliran permukaan dan erosi. Pada partikel-partikel inilah logam berat terikat pada permukaan koloid tanah. Hal inilah yang menyebabkan konsentrasi logam berat dari petak yang ditanami bayam lebih tinggi daripada konsentrasinya dari petak tanpa tanaman bayam.



Serapan Timah Hitam (Pb)
pada Akar, Batang, dan Daun Bayam

Kisaran Pb yang umum dalam tanaman berkisar antara 0.1 sampai 10 ppm (Allaway, 1968). Kandungan Pb ini merupakan hasil akumulasi selama pertumbuhan tanaman.

Serapan total Pb oleh tanaman bayam menunjukkan perbedaan yang nyata antar perlakuan penempatan limbah tetapi tidak berbeda nyata antar kemiringan lereng (Tabel 3 dan 4). Pada akar dan daun serapan total Pb berbeda antara perlakuan tanpa limbah dengan perlakuan limbah sebar dan benam, sedangkan pada batang masing-masing perlakuan limbah memberikan perbedaan yang nyata.

Secara umum serapan Pb tanaman bayam yang paling tinggi diperoleh pada perlakuan limbah sebar diikuti oleh perlakuan limbah benam kemudian tanpa limbah. Limbah yang disebar dipermukaan tanah memungkinkan terjadinya proses pelepasan ion Pb dengan bantuan energi kinetis curah hujan yang langsung menumbuk limbah di permukaan tanah. Kecepatan larut ini mempengaruhi besarnya peningkatan konsentrasi Pb dalam tanah sehingga ketersediaannya bagi tanaman meningkat.

Pengamatan terhadap kandungan Pb pada bagian-bagian tanaman menunjukkan bahwa kandungan Pb tertinggi terdapat pada akar diikuti oleh daun kemudian batang. Gaya gravitasi berperan membatasi pergerakan khelat Pb masuk ke



dalam aliran transpirasi, sehingga Pb-kelat akan terkonsentrasi pada akar. Partikel dengan ukuran besar dan berat molekul yang lebih besar akan dibatasi pergerakannya oleh gaya gravitasi dibandingkan dengan partikel kecil.

Kandungan Pb dalam daun lebih besar daripada kandungannya dalam batang. Selain serapannya lewat akar, Pb juga dapat diserap lewat daun (Sabnis, Gordon, dan Galston, 1969 dalam Mortvedt, Giardano, Lindsay, 1972). Serapan lewat daun dimungkinkan dengan terjadinya erosi percik. Menurut Wiersum (1979) tetesan air hujan yang membentur tanah dengan ketinggian yang bervariasi akan mampu memecahkan agregat tanah dan dapat melontarkan tanah dengan ketinggian 50 cm dan jarak horisontal lebih dari 100 cm. Sedangkan menurut Hardjowigeno (1987) dapat mencapai ketinggian 1 meter. Di daerah yang berlereng, tanah yang terlempar tersebut umumnya jatuh di lereng bagian bawahnya. Hasil erosi percik ini menumpuk pada permukaan daun dan unsur Pb diserap melalui stomata daun. Percikan partikel-partikel tanah di atas daun hasil erosi percik diikat oleh lapisan kutikula pada permukaan daun. Partikel-partikel inilah yang merupakan donor bagi pengkayaan Pb dalam daun.

Timah hitam merupakan unsur yang tidak dibutuhkan tanaman. Meskipun Pb diserap oleh tanaman tetapi tidak diperlukan dalam proses metabolisme tanaman. Hal ini



menyebabkan Pb diakumulasi pada permukaan evaporasi dalam daun.

Pada batang terjadi akumulasi Pb yang paling rendah. Batang merupakan alat transpor dari akar ke daun. Batang bukan merupakan tempat bagi akumulasi unsur dalam tanam. Hal ini menyebabkan rendahnya kandungan logam berat dalam batang.

Tabel 3. Rata-rata Serapan Total Pb dalam Akar (a), Batang (b), dan Daun (d) pada Tiga Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng	Bagian Tanaman		
	Akar	Batang	Daun
ppm.....		
0-3%	98.0 a	48.9 a	114.1 a
3-8%	81.5 a	32.8 a	65.3 a
8-15%	104.5 a	37.6 a	68.6 a

BNT0.05 untuk serapan Pb akar = 63.9

BNT0.05 untuk serapan Pb batang = 22.9

BNT0.05 untuk serapan Pb daun = 56.1

Kandungan Logam Berat dalam Tanah Setelah Panen Bayam

Pengamatan terhadap kandungan logam berat dalam tanah setelah panen bayam (Tabel 5 dan 6) menunjukkan bahwa kandungannya dalam tanah lebih rendah dari pada setelah inkubasi dua minggu dan tidak berbeda nyata pada masing-masing perlakuan. Hal ini berhubungan dengan kehilangan logam berat melalui erosi dan aliran permukaan, serapan

oleh tanaman, dan perubahan logam berat ke bentuk-bentuk yang tidak larut.

Tabel 4. Rata-rata Serapan Total Pb pada Akar (a), Batang (b), dan Daun (d) pada Tiga Penempatan Limbah

Penempatan Limbah	Bagian Tanaman		
	Akar	Batang	Daun
ppm.....		
Tanpa Limbah	28.2 a	17.2 a	42.0 a
Limbah Sebar	151.3 b	58.5 b	111.2 b
Limbah Benam	104.6 b	43.7 b	94.9 b

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji BNT0.01

BNT0.01 untuk serapan Pb akar = 66.3

BNT0.01 untuk serapan Pb batang = 16.9

BNT0.01 untuk serapan Pb daun = 41.3

Pertumbuhan dan Produksi Tanaman

Limbah industri yang ditambahkan ke dalam tanah memiliki sifat kimia yang baik (Tabel Lampiran 2), sehingga penambahannya ke dalam tanah akan menyebabkan terjadinya perbaikan sifat kimia tanah. Di samping itu limbah juga bereaksi alkalin (pH limbah sebesar 8.7), sehingga penambahannya ke dalam tanah akan meningkatkan pH tanah. Hal ini disebabkan oleh sifat kaustik dari limbah. Akibat penambahan limbah ke dalam tanah, maka tanah menjadi media tumbuh yang baik untuk pertumbuhan tanaman seandainya kandungan logam beratnya bukan merupakan faktor pembatas.

Tabel 5. Rata-rata Kandungan Logam Berat Dalam Tanah setelah Panen Bayam pada Tiga Kemiringan Lereng

Kemiringan Lereng	Logam Berat		
	Cu	Cr	Pb
ppm.....		
0-3%	2.7 a	0.6 a	15.3 a
3-8%	3.3 a	1.2 a	32.5 a
8-15%	3.1 a	1.6 a	33.2 a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata

Tabel 6. Rata-rata Kandungan Logam Berat Dalam Tanah setelah Panen Bayam pada Tiga Aplikasi Limbah

Penempatan Limbah	Logam Berat		
	Cu	Cr	Pb
ppm.....		
Tanpa Limbah	2.9 a	0.8 a	27.3 a
Limbah Sebar	3.1 a	2.0 a	53.7 a
Limbah Benam	2.8 a	1.5 a	29.0 a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata

Pertumbuhan Tanaman

Pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman dilakukan terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun. Pengamatan secara visual terhadap pertumbuhan tanaman tidak menunjukkan adanya gangguan fisiologis akibat penambahan limbah ke dalam tanah. Hal ini berarti bahwa logam berat yang



terkandung dalam limbah sampai dengan dosis 5% tidak mengganggu pertumbuhan tanaman.

Pada umur dua minggu setelah tanam, tinggi tanaman belum menunjukkan adanya perbedaan nyata pada semua kemiringan lereng maupun cara penempatan limbah (Tabel 7 dan 8). Pengamatan pada umur tiga minggu setelah tanam tinggi tanaman sudah menunjukkan adanya perbedaan yang nyata baik pada kemiringan lereng maupun cara aplikasi limbah. Pada kemiringan lereng 0-3% terjadi penambahan tinggi tanaman yang paling tinggi, yaitu sebesar 28.7 cm, diikuti oleh kemiringan lereng 3-8% dan 8-15%, masing-masing sebesar 24.7 dan 24.0 cm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil gradien kemiringan lereng semakin kecil erosi tanah yang terjadi. Besar kecilnya erosi tanah akan mempengaruhi besar kecilnya unsur hara yang hilang bersama proses erosi.

Cara penempatan limbah secara benam memberikan efek penambahan tinggi tanaman yang paling tinggi, yaitu sebesar 27.8 cm, diikuti oleh penempatan limbah secara sebar dan perlakuan tanpa limbah, masing-masing sebesar 25.8 dan 23.8 cm. Pembenanam limbah ke dalam tanah akan melindungi limbah dari kikisan aliran permukaan. Pengikisan dan pengangkutan partikel-partikel limbah di permukaan tanah pada perlakuan limbah sebar akan memperbesar kehilangan unsur hara dari dalam tanah. Hal ini menyebabkan tinggi



tanaman pada perlakuan limbah benam lebih tinggi daripada perlakuan limbah sebar.

Pengamatan terhadap jumlah daun menunjukkan tidak adanya pengaruh yang nyata dari kemiringan lereng maupun cara aplikasi limbah (Tabel 9 dan 10). Hal ini terjadi pada umur dua dan tiga minggu setelah tanam. Menurut Grubben (1976) sampai dengan umur tiga minggu setelah tanam, tanaman bayam belum mampu membentuk cabang ke arah samping. Hal ini mengakibatkan belum terjadinya penambahan daun lewat cabang. Jumlah daun pada umur tiga minggu setelah tanam semuanya diperoleh dari daun primer pada batang utama.

Produksi Tanaman

Menurut uji statistik, penambahan limbah ke dalam tanah secara nyata meningkatkan produksi tanaman bayam pada perlakuan limbah sebar dan benam (Tabel 12). Produksi tanaman tertinggi diperoleh pada penempatan limbah secara benam sebesar 15.7 kg, diikuti oleh aplikasi limbah secara sebar dan perlakuan tanpa limbah, masing-masing sebesar 13.7 dan 7.3 kg. Hal ini diduga sebagai akibat dari tersedianya unsur-unsur hara yang dibutuhkan tanaman yang terbawa bersama limbah (Tabel Lampiran 2). Disamping itu limbah juga merupakan bahan yang hidrofilik (kadar air tersedia pada limbah sebesar 267.0%, Tabel lampiran 1),

yang memungkinkan tersedianya air untuk pertumbuhan tanaman. Pembenanaman limbah ke dalam tanah akan memperkecil kehilangannya bersama aliran permukaan dan erosi. Dengan demikian kehilangan unsur-unsur hara ikutan di dalam limbah juga semakin kecil.

Hasil uji statistik terhadap produksi tanaman pada kemiringan lereng tidak menunjukkan perbedaan nyata (Tabel 11). Meskipun tidak berbeda nyata tetapi produksi tertinggi tanaman bayam diperoleh pada kemiringan lereng 0-3% yaitu sebesar 14.3 kg. Hal ini dimungkinkan bahwa pada kemiringan lereng 0-3% terjadi kehilangan unsur-unsur hara yang paling kecil.

Tabel 7. Rata-rata Tinggi Tanaman pada Dua dan Tiga Minggu setelah Tanam pada Tiga Kemiringan Lereng

Kemiringan Lereng	Umur (MST)	
	2	3
CM.....	
0-3%	7.0 a	28.7 b
3-8%	7.1 a	24.7 a
8-15%	6.6 a	24.0 a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji BNT0.05
 BNT0.05 pada umur 2 minggu setelah tanam= 0.796
 BNT0.05 pada umur 3 minggu setelah tanam= 3.678



Tabel 8. Rata-rata Tinggi Tanaman pada Dua dan Tiga Minggu setelah Tanam pada Tiga Penempatan Limbah

Penempatan Limbah	Umur (MST)	
	2	3
.....cm.....		
Tanpa Limbah	6.8 a	23.8 a
Limbah Sebar	6.9 a	25.8 ab
Limbah Benam	7.4 a	27.8 b

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji BNT0.05
 BNT0.05 pada umur 2 minggu setelah tanam = 0.8
 BNT0.05 pada umur 3 minggu setelah tanam = 2.8

Tabel 9. Rata-rata Jumlah Daun pada Dua dan Tiga Minggu setelah Tanam pada Tiga Kemiringan Lereng

Kemiringan Lereng	Umur (MST)	
	2	3
0-3%	6.3 a	9.7 a
3-8%	6.4 a	9.5 a
8-15%	6.3 a	8.5 a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji BNT0.05
 BNT0.05 pada umur 2 minggu setelah tanam = 0.4
 BNT0.05 pada umur 3 minggu setelah tanam = 1.6



Tabel 10. Rata-rata Jumlah Daun pada Dua dan Tiga Minggu setelah Tanam pada Tiga Penempatan Limbah

Penempatan Limbah	Umur (MST)	
	2	3
Tanpa Limbah	6.3 a	9.4 a
Limbah Sebar	6.3 a	8.8 a
Limbah Benam	6.4 a	9.4 a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji BNT0.05
 BNT0.05 pada umur 2 minggu setelah tanam = 0.4
 BNT0.05 pada umur 3 minggu setelah tanam = 1.4

Tabel 11. Rata-rata Bobot Basah/Petak Tanaman Bayam pada Tiga Kemiringan Lereng

Kemiringan Lereng	Bobot Basah/Petak (kg)
0-3%	14.3 a
3-8%	10.7 a
8-15%	11.1 a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji BNT0.05
 BNT0.05 untuk bobot basah/petak = 4.1

Tabel 12. Rata-rata Bobot Basah/Petak Tanaman Bayam pada Tiga Penempatan Limbah

Penempatan Limbah	Bobot Basah/Petak (kg)
Tanpa Limbah	7.3 a
Limbah Sebar	13.7 b
Limbah Benam	15.7 b

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji BNT0.05
 BNT0.05 untuk bobot basah/petak = 3.8

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kandungan logam berat dalam tanah tergolong rendah dan masih berada dalam kisaran yang umum dijumpai. Dalam limbah kandungan logam berat tergolong tinggi untuk Cu dan Cr, sedangkan untuk Pb tergolong sangat tinggi.

Penambahan limbah ke dalam tanah meningkatkan konsentrasi logam berat di dalam tanah. Peningkatan terbesar terjadi pada kemiringan lereng yang paling curam pada penempatan limbah secara sebar.

Kehilangan logam berat terbesar terjadi pada kemiringan lereng yang paling curam (8-15%) pada penempatan limbah secara sebar. Serapan logam berat terbesar terjadi pada kemiringan lereng 0-3% pada penempatan limbah secara sebar.

Penambahan limbah ke dalam tanah mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman bayam seandainya logam berat yang dikandungnya tidak membatasi penggunaannya untuk bidang pertanian.

Saran

Penelitian lanjutan tentang pengaruh logam berat terhadap lingkungan perlu dilakukan, terutama pengaruh logam berat dan bahan inorganik lain pada tanaman pangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allaway, W. H. 1968. Agronomic Control Over the Environmental Cycling of Trace Element. Advance in Agronomy, vol. 20. Academic Press. New York.
- Arsyad, S. 1980. Pengawetan Tanah dan Air. Departemen Ilmu-ilmu Tanah Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Barber, S. A. 1984. Soil Nutrient Availability. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Baver, L. D. 1961. Soil Physics. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Beasley, R. P. 1974. Erosion and sediment pollution control. The Iowa State University Press. Ames Iowa.
- Bohn, H. L., B. L. McNeal, and G. A. O'Connor. 1979. Soil Chemistry. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Chang, F. H. and F. E. Broadbent. 1982. Influence of trace metals on some soil nitrogen transformations. J. Environmental Quality 11 : 1 - 5.
- _____, A. L. Page, J. E. Warneke, and J. B. Johanson. 1982. Effect of Sludge Application on the Cd, Pb, and Zn Levels of Selected Vegetable Plants. Hilgardia, The California Agricultural Experiment Station. California.
- Chapman, H. D. 1975. Diagnostic criteria for plants and soil. Rajendra Ravindra Printers (P) Ltd. New Delhi.
- Chu, L. M. and M. H. Wong. 1987. Heavy metal content of vegetable crops treated with refuse compost and sewage sludge. Plant and Soil 103 : 191 - 197.
- Darmawijaya, M.I. 1981. Erosi Tanah di Perkebunan Teh, I. Hasil Penelitian Erosi Percikan. Konggres Nasional Himpunan Ilmu Tanah III, Malang, Buku II. Himpunan Ilmu Tanah Indonesia. Malang.
- Devlin, R. M. 1975. Plant Physiology. D. van Nostrand Cp. New York.

- Keefer, R. F., R. N. Singh, and D. J. Horvath. 1986. Chemical composition of vegetables grown on an agricultural soil amended with sewage sludges. *J. Environmental Quality* 15 :146 - 152.
- Khaswaneh, F. E. 1971. Solution in Activity and Plant Growth. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35 : 426 - 436.
- King, L. D. and W. R. Dunlop. 1982. Application of sewage sludge to soil high in organic matter. *J. Environmental Quality* 11 : 608 - 616.
- Korcak, R. F. and D. S. Fanning. 1981. Interaction between high levels of applied heavy metal and indigenous soil manganese. *J. Environmental Quality* 10 : 68 -72.
- Krauskopf, K. B. 1972. Geochemistry of micronutrients. *In* J. J. Mortvedt, P. M. Giardano, W. L. Lindsay (ed). *Micronutrients in Agriculture*. Soil Sci. Soc. Amer., Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Lagerweeff, J. V. 1972. Lead, mercury, and cadmium as environmental contaminants. *In* J. J. Mortvedt, P. M. Giardano, W. L. Lindsay (ed). *Micronutrients in Agriculture*. Soil Sci. Soc. Amer., Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Leiwakabessy, F. M. 1981. Bahan Kuliah Kesuburan Tanah. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Lepp, N. W. 1981. Effect of Heavy Metal Pollution on Plants, vol 1. Effect of Trace Metals on Plant Function. Applied Science Publishers. London and New Jersey.
- Liebhardt, W. C. and T. J. Koske. 1974. The lead content of various plant species as affected by cycle-lite humus. *In* N. W. Lepp. 1981. Effect of Heavy Metal Pollution on Plants. Applied Science Publishers. London and New Jersey.
- Lindsay, W. L. 1972. Inorganic Phase Equilibria of Micronutrients in Soils. *In* J. J. Mortvedt, P. M. Giardano, and W. L. Lindsay (ed). *Micronutrients in Agriculture*. Soil Sci. Soc. Amer., Inc. Madison, Wisconsin, USA.

- Salim, E. 1988. Pembangunan Berwawasan Lingkungan. Lembaga Penelitian, Pendidikan, dan Penerangan Ekonomi dan Sosial. Jakarta.
- Sauchelli, V. 1969. Trace Elements in Agriculture. Van Nostran Reinhold Co. New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne.
- Singh, B. R. and R. P. Narwal. 1984. Plant availability of heavy metal in sludge-treated soil : II. Metal extractability compared with plant metal uptake. *J. Environmental Quality* 13 : 344 - 348.
- Sinukaban, N. 1986. Dasar-dasar Konservasi Tanah dan Perencanaan Pertanian Konservasi. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Taylor, S. R. 1964. Abundance of Chemical Elements in the Continental Crust. A New Table. *Geochim. Cosmochim. Acta* 28 : 1273 - 1286.
- Tendler, C. J. and A. J. Solari. 1969. Nuclear orthophosphate ions - elektron microscope and diffraction studies. *In* N. W. Lepp. 1981. Effect of Heavy Metal Pollution on Plants. Applied Science Publishers. London and New Jersey.
- Tisdale, S. L., W. L. Nelson, and J. D. Beaton. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. MacMillan Publ. Co. New York.
- Vergera, I., E. B. Schalscha, and P. F. Pratt. 1985. Evidence for movement of heavy metals in soil irrigated with untreated wastewater. *J. Environmental Quality* 15 : 146 -151.
- Wiersum, K. F. 1979. Introduction to Principles of Erosion with Special Reference to Indonesia. Lembaga Ekologi Universitas Padjajaran, Bandung. Bandung.
- Wischmeier, W. H. 1973. Upslope Erosion Analysis. *In* Shen (ed). 1973. Environmental Impact on Rivers (Rivers Mechanic III).
- Zimdahl, R. L. and D.E. Koeppe. 1977. Uptake by plants. *In* W. R. Bogges (ed). National Science Foundation. Washington DC. *In* N. W. Lepp. 1981. Effect of Heavy Metal pollution on Plants. Applied Science Publishers. London and New Jersey.



Hal Cipta (Hak Cipta) Unsur-unsur yang

1. Dilindungi sebagai bagian dari kekayaan intelektual yang dimiliki oleh individu atau badan hukum.

2. Tidak dapat ditiru, dityalahi, atau ditiru secara tidak sah tanpa izin dari pemegang hak cipta.

3. Dapat memberikan keuntungan ekonomi kepada pemegang hak cipta.

4. Dapat memberikan perlindungan hukum kepada pemegang hak cipta.

5. Dapat memberikan penghargaan kepada pemegang hak cipta.

L A M P I R A N

Tabel lampiran 1. Sifat Fisik Inceptisol Darmaga dan Limbah sebelum Perlakuan

Sifat Fisik	Tanah	Limbah
Tekstur		
pasir (%)	6.3	4.2
debu (%)	29.1	70.6
liat (%)	64.6	25.2
Air tersedia (%)	28.8	269.0
Bulk density (gram/cc)	1.0	-
Porositas (%)	63.2	-
Kadar air pada pF		
1.00 (%)	54.3	-
2.00 (%)	44.6	-
2.54 (%)	41.5	-
4.20 (%)	27.1	-
Pori drainase		
cepat (%)	20.4	-
lambat (%)	3.2	-

Tabel lampiran 2. Sifat Kimia Inceptisol Darmaga dan Limbah sebelum Perlakuan

Sifat Kimia	Tanah	Limbah
pH 1 : 1		
H ₂ O	5.0	8.7
KCl	3.7	8.4
C-organik (%)	1.67	0.5
N-total (%)	0.15	0.03
P-tersedia (ppm)	tu	19.0
Basa-basa dapat ditukar		
Ca (me/100 gram)	1.9	77.6
Mg (me/100 gram)	0.7	5.3
Na (me/100 gram)	0.1	2.1
K (me/100 gram)	0.1	0.4
Total (me/100 gram)	2.9	83.9
KTK (me/100 gram)	15.4	13.0
Al-dd (me/100 gram)	2.4	tu
H-dd (me/100 gram)	0.7	0.2
Fe-tersedia (ppm)	-	59.9
Mn-tersedia (ppm)	-	47.8
Zn-tersedia (ppm)	-	0.3

Tabel lampiran 3. Logam Berat Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah dan Limbah sebelum Perlakuan

Sampel	Logam Berat		
	Cu	Cr	Pb
 ppm.....		
Tanah	2.8	2.0	5.6
Limbah	71.0	168.0	8292.0

Tabel lampiran 4. Suhu Udara (T) pada Siang Hari dan Rata-rata Curah Hujan Bulanan selama masa Penelitian

Ulangan	Suhu Udara (°C)	Bulan (1990)	Curah Hujan (mm)
1	33.5	Maret	2653
2	31.1	April	5492
3	32.0	Mei	2762

Tabel lampiran 5. Pengamatan terhadap Perubahan pH Tanah selama Masa Penelitian secara Periodik Setiap Minggu

Kombinasi Perlakuan	pH		
	M ₁	M ₂	M ₃
K ₀ L ₀ L ₁ L ₂	6.0	6.0	6.0
	7.0	6.5	6.5
	6.9	6.8	6.6
K ₁ L ₀ L ₁ L ₂	6.0	6.0	6.0
	7.0	6.7	6.5
	7.0	6.9	6.6
K ₂ L ₀ L ₁ L ₂	6.0	6.0	6.0
	7.0	7.0	7.0
	7.0	6.8	6.6

Tabel lampiran 6. Rata-rata Kandungan Logam Berat setelah Inkubasi Dua Minggu pada Berbagai Kombinasi Perlakuan dan Kisaran Konsentrasinya dalam Tanah

Kombinasi Perlakuan	Logam Berat		
	Cu	Cr	Pb
 ppm.....		
K ₀ L ₀ L ₁ L ₂	3.1	0.5	4.2
	3.4	2.4	62.0
	3.6	1.2	30.9
K ₁ L ₀ L ₁ L ₂	3.0	0.8	5.5
	5.3	1.0	15.7
	3.2	2.0	43.5
K ₂ L ₀ L ₁ L ₂	3.2	0.8	3.4
	3.7	2.7	89.3
	3.7	3.7	74.1
Kisaran konsentrasi total dalam tanah	2 - 100	5 - 3000	2 - 200
Konsentrasi rata-rata	20	100	10
Konsentrasi dalam	0.063	0.001	0.001

Hak Cipta: Penerbit: Universitas IPB
 1. Dilindungi undang-undang sebagai hak kekayaan intelektual.
 2. Tidak diperbolehkan untuk diperjualbelikan atau dipinjamkan kepada pihak lain.
 3. Tidak diperbolehkan untuk dipublikasikan atau diumumkan secara terbuka.
 4. Tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai sumber rujukan atau referensi.
 5. Tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai sumber rujukan atau referensi.
 6. Tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai sumber rujukan atau referensi.
 7. Tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai sumber rujukan atau referensi.
 8. Tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai sumber rujukan atau referensi.
 9. Tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai sumber rujukan atau referensi.
 10. Tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai sumber rujukan atau referensi.

Tabel lampiran 7. Tembaga Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah Setelah Inkubasi Dua Minggu

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....ppm.....					
K ₀	L ₀	3.08	3.22	3.21	9.31
	L ₁	3.18	3.50	3.46	10.14
	L ₂	2.98	3.39	3.68	10.05
Sub total		9.24	10.11	10.35	29.70
K ₁	L ₀	3.06	2.86	3.22	9.14
	L ₁	2.97	3.05	9.98	16.00
	L ₂	3.11	3.39	3.21	9.71
Sub total		9.14	9.30	16.41	34.85
K ₂	L ₀	3.27	3.17	3.12	9.56
	L ₁	3.59	3.28	4.16	11.03
	L ₂	3.29	4.19	3.47	10.95
Sub total		10.15	10.64	10.75	31.54
T o t a l		28.53	30.05	37.51	96.09

Tabel lampiran 8. Chromium Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah Setelah Inkubasi Dua Minggu

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....ppm.....					
K ₀	L ₀	0.58	0.68	0.37	1.63
	L ₁	0.93	4.94	1.48	7.35
	L ₂	0.66	1.29	1.70	3.65
Sub total		2.17	6.91	3.55	12.63
K ₁	L ₀	0.63	0.62	1.06	2.31
	L ₁	0.71	0.96	1.22	2.89
	L ₂	4.40	4.05	0.84	5.85
Sub total		2.30	5.63	3.12	11.05
K ₂	L ₀	0.83	0.74	0.78	2.35
	L ₁	2.51	2.31	3.25	8.07
	L ₂	0.88	9.41	0.75	11.04
Sub total		4.22	12.46	4.78	21.46
T o t a l		8.69	25.00	11.45	45.14

Keterangan : K₀ = kemiringan 0-3% L₀ = tanpa limbah
 K₁ = kemiringan 3-8% L₁ = limbah sebar
 K₂ = kemiringan 8-15% L₂ = limbah benam

Tabel lampiran 9. Timah Hitam Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah Setelah Inkubasi Dua Minggu

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....ppm.....					
K ₀	L ₀	3.94	4.73	4.02	12.69
	L ₁	26.00	113.85	46.29	186.14
	L ₂	7.03	23.57	62.15	92.75
Sub total		36.97	142.15	112.46	291.58
K ₁	L ₀	9.69	4.16	2.60	16.45
	L ₁	9.62	14.16	23.33	47.11
	L ₂	4.40	112.59	13.42	130.41
Sub total		23.71	130.91	39.35	193.97
K ₂	L ₀	3.26	3.62	3.42	10.30
	L ₁	58.05	80.61	129.22	267.88
	L ₂	8.16	109.14	5.13	222.43
Sub total		69.47	293.37	137.77	500.61
T o t a l		130.15	566.43	189.58	986.16

Tabel lampiran 10. Tembaga Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Sedimen

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....ppm.....					
K ₀	L ₀	7.00	6.20	5.15	18.35
	L ₁	0.65	5.50	5.10	11.25
	L ₂	4.00	0.65	5.45	10.10
Sub total		11.65	12.35	15.70	39.70
K ₁	L ₀	5.25	3.05	7.00	15.30
	L ₁	138.00	2.60	7.50	148.10
	L ₂	210.00	0.20	0.30	210.50
Sub total		353.25	5.85	14.80	373.90
K ₂	L ₀	4.45	-	4.75	9.20
	L ₁	4.30	4.90	6.60	15.80
	L ₂	4.35	9.50	6.00	19.85
Sub total		13.10	14.40	17.35	44.85
T o t a l		378.00	32.60	47.85	458.45

Tabel lampiran 11. Chromium Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Sedimen

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....ppm.....					
K ₀	L ₀	0.35	0.00	0.25	0.60
	L ₁	2.15	3.15	3.15	8.45
	L ₂	0.40	3.05	2.50	5.95
Sub total		2.90	6.20	5.90	15.00
K ₁	L ₀	0.20	0.15	0.75	1.10
	L ₁	12.25	2.85	2.30	17.40
	L ₂	3.40	0.00	1.45	4.85
Sub total		15.85	3.00	4.50	23.35
K ₂	L ₀	0.35	-	0.80	1.15
	L ₁	0.90	3.80	0.70	5.40
	L ₂	0.15	0.50	12.00	12.65
Sub total		1.40	4.30	13.50	19.20
T o t a l		20.15	13.50	23.90	57.55

Tabel lampiran 12. Timah Hitam Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Sedimen

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....ppm.....					
K ₀	L ₀	9.25	16.50	24.00	49.75
	L ₁	115.00	85.00	155.00	355.00
	L ₂	15.00	200.00	58.00	173.00
Sub total		139.25	301.50	237.00	577.75
K ₁	L ₀	15.00	7.00	14.00	36.00
	L ₁	170.00	205.00	84.50	459.50
	L ₂	90.00	0.00	82.50	172.50
Sub total		275.00	212.00	181.00	668.00
K ₂	L ₀	16.70	-	141.00	157.70
	L ₁	17.00	250.00	115.00	382.00
	L ₂	20.50	35.00	85.00	140.50
Sub total		54.20	285.00	341.00	680.20
T o t a l		468.45	798.50	759.00	1925.95

Tabel lampiran 13. Serapan Total Pb pada Akar Bayam Selama Tiga Minggu Tanam

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....ppm.....					
K ₀	L ₀	29.79	75.71	12.53	118.03
	L ₁	127.83	185.24	105.93	419.00
	L ₂	85.72	84.68	174.93	345.33
Sub total		243.34	345.63	293.39	882.36
K ₁	L ₀	26.40	18.95	16.73	62.08
	L ₁	84.79	133.00	184.59	402.38
	L ₂	88.87	114.04	67.69	270.60
Sub total		200.06	265.99	269.01	735.06
K ₂	L ₀	23.37	23.27	27.27	73.91
	L ₁	287.33	126.88	126.30	541.51
	L ₂	117.24	85.54	123.38	326.16
Sub total		427.94	235.69	276.95	940.58
T o t a l		817.34	847.31	839.35	2558.00

Tabel lampiran 14. Serapan Total Pb pada Batang Bayam Selama Tiga Minggu Tanam

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....ppm.....					
K ₀	L ₀	21.82	29.68	16.23	67.73
	L ₁	54.59	85.15	60.50	200.24
	L ₂	40.37	49.43	82.89	172.69
Sub total		116.78	164.26	159.62	440.66
K ₁	L ₀	11.57	9.06	15.88	36.51
	L ₁	39.31	53.50	55.84	148.65
	L ₂	34.34	31.32	44.90	110.56
Sub total		85.22	93.88	116.62	295.72
K ₂	L ₀	18.61	18.87	12.70	50.18
	L ₁	80.54	58.61	38.99	178.14
	L ₂	45.41	33.58	31.44	110.45
Sub total		144.56	111.06	83.13	338.75
T o t a l		346.56	369.20	359.37	1075.13

Tabel lampiran 15. Serapan Total Pb pada Daun Bayam Selama Tiga Minggu Tanam

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....ppm.....					
K ₀	L ₀	44.94	61.49	47.81	154.24
	L ₁	116.66	189.76	116.43	422.85
	L ₂	87.24	144.94	218.50	450.68
Sub total		248.84	396.19	382.74	1027.74
K ₁	L ₀	32.76	37.01	38.17	98.04
	L ₁	90.37	90.69	101.15	282.21
	L ₂	67.81	65.92	73.72	207.45
Sub total		190.94	183.62	213.14	587.70
K ₂	L ₀	46.20	40.69	38.96	125.85
	L ₁	125.74	98.85	71.15	295.74
	L ₂	109.65	31.09	55.63	196.37
Sub total		281.59	170.63	165.74	617.96
T o t a l		721.37	750.44	761.62	2233.43

Tabel lampiran 16. Tembaga Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah Setelah Panen Bayam

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....ppm.....					
K ₀	L ₀	1.55	2.87	3.34	7.76
	L ₁	2.45	1.95	1.80	6.20
	L ₂	3.88	2.60	3.84	10.32
Sub total		7.88	7.42	8.98	24.28
K ₁	L ₀	2.45	3.20	2.33	7.98
	L ₁	6.37	3.03	4.00	13.40
	L ₂	2.30	0.30	3.30	5.90
Sub total		11.12	6.53	9.63	27.28
K ₂	L ₀	3.49	3.56	3.20	10.25
	L ₁	4.47	2.10	1.83	8.40
	L ₂	1.05	4.68	3.25	8.98
Sub total		9.01	10.34	8.28	27.63
T o t a l		28.01	24.29	26.89	79.19

Tabel lampiran 17. Chromium Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah Setelah Panen Bayam

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....ppm.....					
K ₀	L ₀	1.50	0.43	0.50	2.43
	L ₁	0.00	0.35	0.28	0.63
	L ₂	0.43	0.56	1.03	2.42
Sub total		1.93	1.34	2.21	5.48
K ₁	L ₀	0.10	0.50	0.10	0.70
	L ₁	2.50	1.88	2.43	6.81
	L ₂	0.25	0.30	3.03	3.58
Sub total		2.85	2.68	5.56	11.69
K ₂	L ₀	0.86	2.23	0.55	3.64
	L ₁	1.52	0.00	1.67	3.19
	L ₂	2.15	4.49	0.67	7.31
Sub total		4.53	6.72	2.89	14.14
T o t a l		9.31	10.74	10.57	30.71

Tabel lampiran 18. Timah Hitam Terlarut pada Pelarut 0.1 N HCl dalam Tanah Setelah Panen Bayam

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....ppm.....					
K ₀	L ₀	10.25	14.73	17.96	42.94
	L ₁	10.45	14.53	11.90	36.88
	L ₂	14.30	25.50	17.69	57.49
Sub total		35.00	54.76	47.55	137.31
K ₁	L ₀	16.50	20.75	18.00	55.25
	L ₁	43.28	46.69	21.00	110.97
	L ₂	19.50	32.00	75.00	126.65
Sub total		79.28	99.44	114.00	292.72
K ₂	L ₀	18.21	59.50	70.00	147.71
	L ₁	31.67	11.50	31.12	74.29
	L ₂	21.50	27.24	28.50	77.24
Sub total		71.38	98.24	129.62	299.24
T o t a l		185.66	252.44	291.17	729.27

Tabel lampiran 19. Tinggi Tanaman Dua Minggu Setelah Tanam

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....cm.....					
K ₀	L ₀	7.30	7.16	6.64	21.10
	L ₁	7.72	7.20	6.14	21.06
	L ₂	7.50	7.58	7.82	22.90
Sub total		22.52	21.94	20.60	65.06
K ₁	L ₀	8.14	8.04	7.18	23.36
	L ₁	6.56	6.94	5.86	19.36
	L ₂	5.82	7.20	7.84	20.86
Sub total		20.52	22.18	20.88	63.58
K ₂	L ₀	4.64	6.16	5.56	16.36
	L ₁	6.26	6.04	8.34	20.64
	L ₂	7.86	7.74	6.82	22.42
Sub total		18.76	19.94	20.72	59.42
T o t a l		60.80	64.06	62.20	188.06

Tabel lampiran 20. Tinggi Tanaman Tiga Minggu Setelah Tanam

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....cm.....					
K ₀	L ₀	25.40	28.26	25.88	79.54
	L ₁	28.88	32.44	26.30	87.62
	L ₂	33.02	30.98	26.84	90.84
Sub total		87.30	91.68	79.02	258.00
K ₁	L ₀	24.22	27.06	23.50	74.78
	L ₁	21.94	25.42	21.90	69.26
	L ₂	24.24	26.74	27.66	78.64
Sub total		70.40	79.22	73.06	222.68
K ₂	L ₀	15.90	19.42	24.26	59.58
	L ₁	27.44	23.00	25.24	75.68
	L ₂	30.04	26.90	23.48	80.42
Sub total		73.38	69.32	72.98	219.68
T o t a l		231.08	240.22	225.06	696.26



Tabel lampiran 21. Jumlah Daun Dua Minggu Setelah Tanam

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
K ₀	L ₀	5.80	5.80	6.80	18.40
	L ₁	6.60	6.40	6.00	19.00
	L ₂	6.40	6.80	6.40	19.60
Sub total		18.80	19.00	19.20	57.00
K ₁	L ₀	6.60	6.00	6.80	19.40
	L ₁	6.40	6.20	6.00	18.60
	L ₂	6.80	6.00	6.60	19.40
Sub total		19.80	18.20	19.40	57.40
K ₂	L ₀	6.20	6.40	6.40	19.00
	L ₁	6.00	6.40	6.60	19.00
	L ₂	6.60	6.00	6.40	19.00
Sub total		18.80	18.80	19.40	57.00
T o t a l		57.40	57.40	58.00	171.40

Tabel lampiran 22. Jumlah Daun Tiga Minggu Setelah Tanam

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
K ₀	L ₀	8.40	9.60	11.00	29.00
	L ₁	10.20	8.60	8.40	27.20
	L ₂	10.80	8.80	11.20	30.80
Sub total		29.40	27.00	30.60	87.00
K ₁	L ₀	10.40	10.60	8.60	29.60
	L ₁	12.60	7.60	8.80	29.00
	L ₂	8.20	10.60	8.40	27.20
Sub total		31.20	28.80	25.80	85.80
K ₂	L ₀	8.60	8.40	9.40	26.40
	L ₁	8.20	7.40	7.80	23.40
	L ₂	8.40	9.80	8.20	26.40
Sub total		25.20	25.60	25.40	76.20
T o t a l		85.80	81.40	81.80	249.00

Tabel lampiran 23. Bobot Basah/Petak Tanaman Bayam

Petak Utama	Anak Petak	Kelompok			Total
		I	II	III	
.....kg.....					
K ₀	L ₀	13.22	5.06	12.62	30.90
	L ₁	20.47	17.44	12.97	50.07
	L ₂	20.46	18.52	17.09	56.07
Sub total		54.15	41.02	42.68	137.04
K ₁	L ₀	4.60	10.21	6.32	21.13
	L ₁	10.91	10.97	11.82	22.70
	L ₂	12.44	13.18	15.86	41.48
Sub total		27.95	34.36	34.00	96.31
K ₂	L ₀	3.69	7.70	5.03	16.42
	L ₁	15.09	10.33	13.69	39.11
	L ₂	17.22	13.84	13.07	44.07
Sub total		36.00	31.87	31.79	99.60
T o t a l		118.10	107.25	108.47	332.95

Tabel lampiran 24. Daftar Sidik Ragam Cu Terlarut setelah Inkubasi

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	5.731	2.866	1.85ns
Lereng (K)	2	1.469	0.735	<1
Galat (a)	4	6.193	1.548	
Limbah (L)	2	4.269	2.134	1.17ns
K x L	4	5.626	1.406	<1
Galat (b)	12	21.827	1.819	
Total	26	45.116		

cv (a) = 35.0%, cv (b) = 37.7%

Tabel lampiran 25. Daftar Sidik Ragam Cr Terlarut setelah Inkubasi

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	17.641	8.821	12.05*
Lereng (K)	2	7.188	3.594	4.91ns
Galat (a)	4	2.929	0.732	
Limbah (L)	2	13.824	6.912	1.78ns
K x L	4	7.661	1.915	<1
Galat (b)	12	46.691	3.891	
Total	26	95.934		

cv (a) = 51.2%, cv (b) = 118.5%

Tabel lampiran 26. Daftar Sidik Ragam Pb Terlarut setelah Inkubasi

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	11618.314	5809.157	15.04*
Lereng (K)	2	6215.546	3107.773	8.04*
Galat (a)	4	1545.487	386.732	
Limbah (L)	2	12826.925	6413.462	2.69ns
K x L	4	8094.620	2023.655	<1
Galat (b)	12	28638.712	2386.559	
Total	26	68939.602		

cv (a) = 53.8%, cv (b) = 142.4%

Tabel lampiran 27. Daftar Sidik Ragam Cu Terlarut dalam Sedimen

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	4171.428	2085.714	<1
Lereng (K)	2	4093.518	2046.759	<1
Galat (a)	4	8906.293	2226.573	
Limbah (L)	2	1090.934	545.467	<1
K x L	4	2334.609	583.652	<1
Galat (b)	12	7511.654	625.971	
Total	26	28108.436		

cv (a) = 434.0%, cv (b) = 230.1%

Tabel lampiran 28. Daftar Sidik Ragam Cr Terlarut dalam Sedimen

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	4.827	2.413	<1
Lereng (K)	2	5.094	2.547	<1
Galat (a)	4	28.368	7.096	
Limbah (L)	2	48.096	24.048	5.90*
K x L	4	14.246	3.562	<1
Galat (b)	12	48.934	4.078	
Total	53	149.565		

cv (a) = 152.3%, cv (b) = 115.5%

Tabel lampiran 29. Daftar Sidik Ragam Pb Terlarut dalam Sedimen

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	4915.806	2457.903	1.22ns
Lereng (K)	2	3509.108	1754.554	<1
Galat (a)	4	8005.936	2001.484	
Limbah (L)	2	82902.868	41451.434	21.84**
K x L	4	14668.372	3667.093	1.93ns
Galat (b)	12	22775.943	1897.995	
Total	53	136778.033		

cv (a) = 54.2%, cv (b) = 52.8%

** = berbeda nyata pada taraf uji $F_{0.01}$

* = berbeda nyata pada taraf uji $F_{0.05}$

ns = tidak berbeda nyata

Tabel lampiran 30. Daftar Sidik Ragam Serapan Total Pb Akar Bayam

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	61.635	30.817	<1
Lereng (K)	2	2493.531	1246.765	<1
Galat (a)	4	9523.662	2380.916	
Limbah (L)	2	69520.307	34760.154	16.40**
K x L	4	2881.658	720.415	<1
Galat (b)	12	25441.189	2120.099	
Total	26	109921.984		

cv (a) = 51.5%, cv (b) = 48.6%

Tabel lampiran 31. Daftar Sidik Ragam Serapan Total Pb pada Batang Bayam

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	28.556	14.278	<1
Lereng (K)	2	1223.077	611.538	1.99ns
Galat (a)	4	1230.468	307.617	
Limbah (L)	2	7904.105	3952.052	28.67**
K x L	4	293.113	59.778	<1
Galat (b)	12	1653.912	137.826	
Total	26	12279.912		

cv (a) = 44.1%, cv (b) = 29.5%

Tabel lampiran 32. Daftar Sidik Ragam Serapan Total Pb pada Daun Bayam

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	95.930	47.965	<1
Lereng (K)	2	13426.722	6713.361	3.65ns
Galat (a)	4	7348.208	1837.052	
Limbah (L)	2	23557.407	11778.704	14.33**
K x L	4	4886.014	1221.503	1.49ns
Galat (b)	12	9863.630	821.969	
Total	26	59177.910		

cv (a) = cv (b) = 34.7%

Tabel lampiran 33. Daftar Sidik Ragam Cu Terlarut dalam Tanah setelah Panen Bayam

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	0.809	0.405	<1
Lereng (K)	2	0.754	0.377	<1
Galat (a)	4	4.002	1.000	
Limbah (L)	2	0.463	0.232	<1
K x L	4	13.013	3.253	1.93ns
Galat (b)	12	20.198	1.683	
Total	26	39.239		

cv (a) = 34.1%, cv (b) = 44.2%



Tabel lampiran 34. Daftar Sidik Ragam Cr Terlarut dalam Tanah setelah Panen Bayam

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	0.137	0.069	<1
Lereng (K)	2	4.351	2.176	2.06ns
Galat (a)	4	4.217	1.054	
Limbah (L)	2	2.361	1.181	1.08ns
K x L	4	7.966	1.991	1.81ns
Galat (b)	12	13.178	1.098	
Total	26	32.211		

cv (a) = 90.3%, cv (b) = 92.3%

Tabel lampiran 35. Daftar Sidik Ragam Pb Terlarut dalam Tanah setelah Panen Bayam

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	21282.993	10641.496	<1
Lereng (K)	2	49459.220	24729.610	2.01ns
Galat (a)	4	49250.092	12312.523	
Limbah (L)	2	53491.617	26745.808	1.94ns
K x L	4	73065.808	18266.452	1.32ns
Galat (b)	12	165458.539	13788.212	
Total	26	412008.280		

cv (a) = 266.6%, cv (b) = 183.9%
ns = tidak berbeda nyata

Tabel lampiran 36. Daftar Sidik Ragam Tinggi Tanaman pada Dua Minggu setelah Tanam

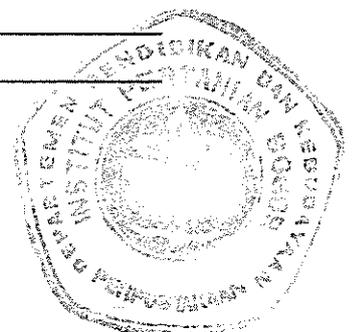
Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	0.323	0.162	<1
Lereng (K)	2	1.900	0.950	2.53ns
Galat (a)	4	1.481	0.370	
Limbah (L)	2	2.037	1.018	1.51ns
K x L	4	7.889	1.972	2.91ns
Galat (b)	12	8.120	0.677	
Total	26	21.751		

cv (a) = 8.7%, cv (b) = 11.8%

Tabel lampiran 37. Daftar Sidik Ragam Tinggi Tanaman pada Tiga Minggu setelah Tanam

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	12.948	6.474	<1
Lereng (K)	2	114.351	57.175	7.24*
Galat (a)	4	31.593	7.898	
Limbah (L)	2	72.032	36.016	4.96*
K x L	4	44.932	11.233	1.55ns
Galat (b)	12	87.131	7.261	
Total	26	362.988		

cv (a) = 10.9%, cv (b) = 10.4%



Tabel lampiran 38. Daftar Sidik Ragam Jumlah Daun pada Dua Minggu setelah Tanam

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	0.234	0.117	1.39ns
Lereng (K)	2	0.012	0.006	<1
Galat (a)	4	0.335	0.084	<1
Limbah (L)	2	0.127	0.064	<1
K x L	4	0.255	0.064	<1
Galat (b)	12	1.564	0.130	<1
Total	26	2.527		

cv (a) = 4.6%, cv (b) = 5.7%

* = berbeda nyata pada taraf uji $F_{0.05}$

ns = tidak berbeda nyata

Tabel lampiran 39. Daftar Sidik Ragam Jumlah Daun pada Tiga Minggu setelah Tanam

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	1.316	0.658	<1
Lereng (K)	2	7.787	3.893	2.67ns
Galat (a)	4	5.831	1.458	<1
Limbah (L)	2	1.947	0.973	<1
K x L	4	3.253	0.813	<1
Galat (b)	12	23.493	1.958	<1
Total	26	43.493		

cv (a) = 13.1%, cv (b) = 15.2%

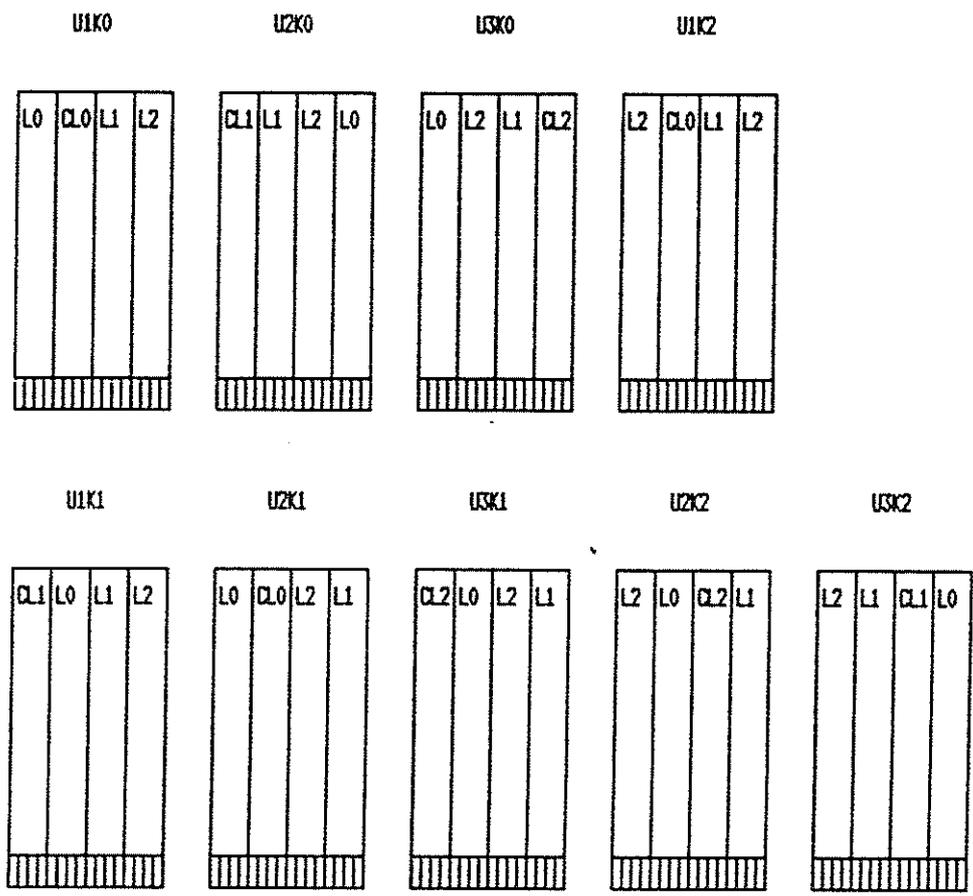
Tabel lampiran 40. Daftar Sidik Ragam Bobot Basah Tanaman Bayam Tiap petak Perlakuan

Sumber	db	JK	KT	F-hit
Kelompok	2	7.850	3.925	<1
Lereng (K)	2	118.343	59.171	6.11ns
Galat (a)	4	38.741	9.685	<1
Limbah (L)	2	323.620	161.810	23.53**
K x L	4	9.736	2.434	<1
Galat (b)	12	82.533	6.878	<1
Total	26	580.823		

cv (a) = 25.2%, cv (b) = 21.2%

** = berbeda nyata pada taraf uji $F_{0.01}$

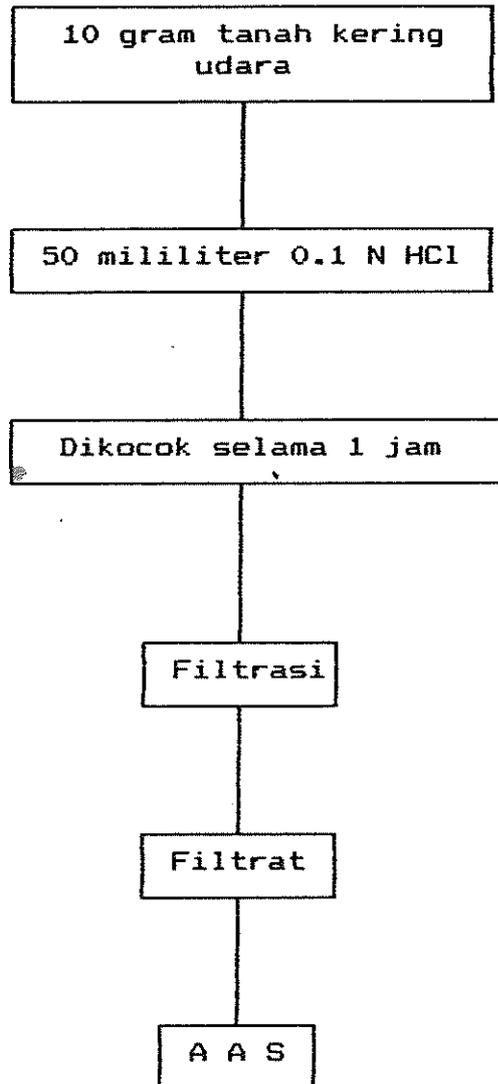
ns = tidak berbeda nyata



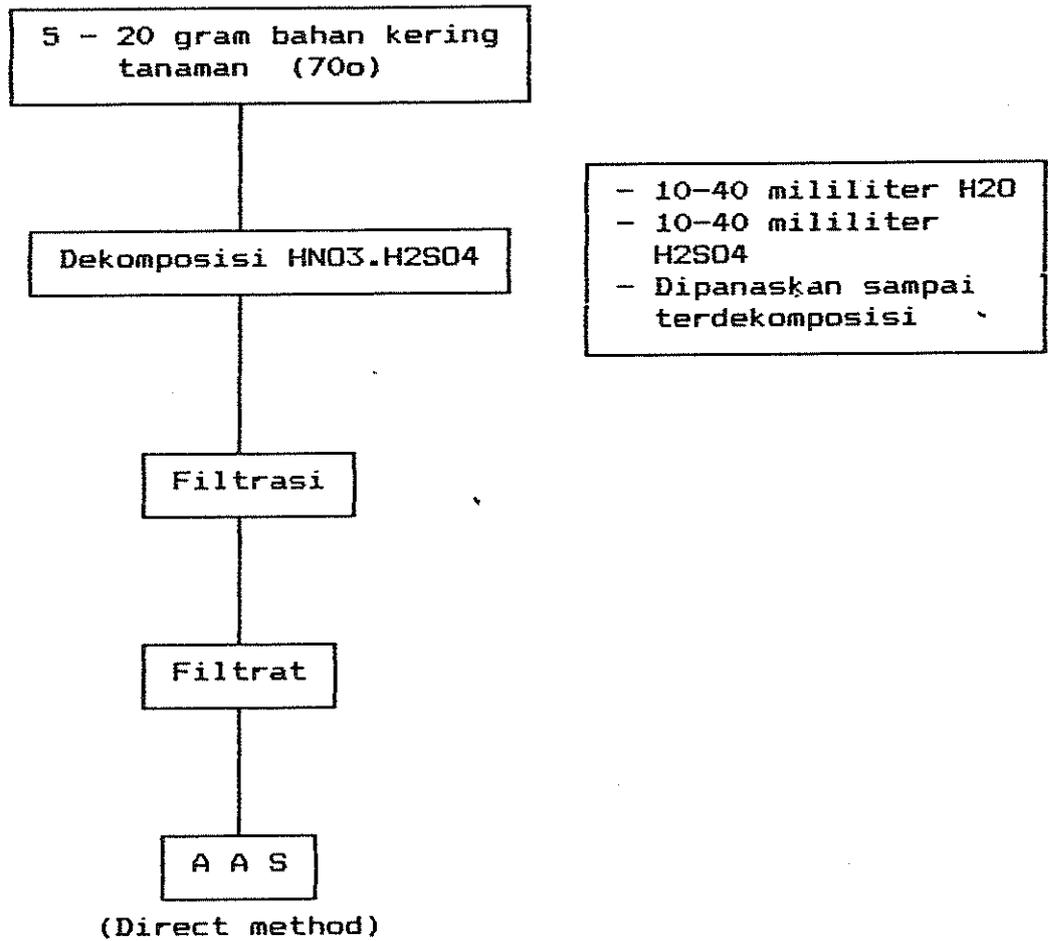
Keterangan : U = ulangan
 K0 = kemiringan lereng 0-3%
 K1 = kemiringan lereng 3-8%
 K2 = kemiringan lereng 8-15%
 C = tidak ditanami
 L0 = perlakuan tanpa limbah
 L1 = perlakuan limbah sebar
 L2 = perlakuan limbah benas

panjang petak erosi = 11 meter
 lebar petak erosi = 1 meter
 = penampungan air dan sedimen

Gambar Lampiran 1. Denah Petak Percobaan di Kebun Percobaan Agronomi Cikabayan



Gambar lampiran 2. Bagan Ekstraksi Logam Berat pada Tanah dengan Metode 0.1 N HCl



Gambar lampiran 3. Bagan Ekstraksi Logam Berat pada Jaringan Tanaman