

**HAMBATAN PERTUMBUHAN AKAR KELAPA SAWIT OLEH
ALUMINIUM DI LAPISAN TANAH BAWAH: Penambahan Campuran
Kapur dan Kompos untuk Memperbaiki Pertumbuhan Akar**

Oleh:

EVA AYU RAHMAWATI

**MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**



**JURUSAN TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2016**

**HAMBATAN PERTUMBUHAN AKAR KELAPA SAWIT OLEH
ALUMINIUM DI LAPISAN TANAH BAWAH. Penambahan
Campuran Kapur dan Kompos untuk Memperbaiki Pertumbuhan
Akar**

Oleh:

EVA AYU RAHMAWATI

125040201111193

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2016**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Agustus 2016

Eva Ayu Rahmawati

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Penelitian : Hambatan Pertumbuhan Akar Kelapa Sawit oleh Aluminium di Lapisan Tanah Bawah. Penambahan Campuran Kapur dan Kompos untuk Memperbaiki Pertumbuhan Akar.

Nama Mahasiswa : Eva Ayu Rahmawati

NIM : 125040201111193

Jurusan : Tanah

Program Studi : Agroekoteknologi

Menyetujui :

Pembimbing Utama,

Pembimbing Kedua,

Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D

NIP. 195604101983032001

Ir. Widiyanto, M.Sc

NIP. 195302121979031004

Mengetahui,

a.n Dekan

Ketua Jurusan Tanah

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU

NIP. 19540501198103100

Tanggal Persetujuan:

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS.
NIP. 196111091985032001

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU
NIP. 19540501198103100

Penguji III

Penguji IV

Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D
NIP. 195604101983032001

Ir. Widiyanto, M.Sc
NIP. 195302121979031004

Tanggal Lulus:

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*Skripsi ini kupersembahkan untuk
kedua orang tuaku tercinta, Ibu Wati dan Bapak Fanani,
serta sahabatku Pipit, Dahniar, Sabit dan alm. Dhandhy.*

RINGKASAN

EVA AYU RAHMAWATI. 125040201111193. Hambatan Pertumbuhan Akar Kelapa Sawit oleh Aluminium di Tanah Lapisan Bawah. Penambahan Campuran Kapur dan Kompos untuk Memperbaiki Pertumbuhan Akar. Dibawah bimbingan Kurniatun Hairiah dan Widiyanto.

Pertumbuhan akar kelapa sawit di tanah masam umumnya terhambat di lapisan bawah, sehingga akan menurunkan efisiensi serapan air dan hara dari pupuk. Ada 3 faktor luar yang membatasi perkembangan perakaran sawit di lapisan bawah, yaitu tingkat kepadatan tanah yang tinggi, jenuh air dan keracunan Al. Penghambatan pertumbuhan akar dalam tanah masam umumnya karena keracunan Al.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi tingkat kerusakan akar kelapa sawit oleh adanya keracunan Al, dan upaya perbaikan pertumbuhan akar kelapa sawit dengan menambahkan bahan pembenah tanah (amelioran) yaitu campuran kapur pertanian (kaptan) dan kompos pada percobaan pot tunggal. Penelitian ini dilaksanakan di lahan percobaan bibit *Research Center* PT. Astra Agro Lestari mulai Januari hingga Mei 2016. Dalam percobaan ini menggunakan rancangan acak kelompok dengan 4 ulangan dan 11 macam perlakuan, yaitu kontrol, penambahan $AlCl_3$ (100, 200, 300 dan 400 μM), penambahan Kapur Pertanian atau Kaptan (0,5; 1 dan 1,5 kali dosis lapang) dan penambahan campuran Kaptan (0,5; 1 dan 1,5 kali dosis lapang) + Kompos Tankos.

Berdasarkan uji ANOVA penambahan Al dan Amelioran terhadap tanah bawah tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap total panjang akar (Lrv) dan berat kering akar (Drv) bibit sawit, nampaknya, kelapa sawit cukup toleran terhadap Al. Upaya perbaikan kondisi akar sawit dengan menambahkan campuran Kaptan 1 x dosis (680 kg ha^{-1}) dan Kompos cenderung ($0,10 > p > 0,05$) meningkatkan total panjang akar (Lrv) sebesar 49% jika dibandingkan dengan penambahan Kapur Pertanian 1 x dosis tanpa kompos (rerata Lrv seluruh perlakuan $0,14 \text{ cm cm}^{-3}$).

Penambahan campuran Kaptan 1 x dosis dan Kompos meningkatkan berat kering akar (Drv) secara nyata ($p < 0,05$) sebesar 72% jika dibandingkan dengan perlakuan penambahan Kapur 1 x dosis (rerata Drv seluruh perlakuan adalah $2,3 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$). Sedangkan peningkatan pemberian campuran Kapur Pertanian > 1 kali dosis lapang dan Kompos Tankos tidak lagi dapat meningkatkan Lrv dan Drv. Nisbah berat kering tajuk:akar dari percobaan ini rata-rata 10:1.

Penurunan total panjang akar (Lrv) berhubungan lemah dengan konsentrasi Al-monomerik ($r = 0,082$), walaupun ada kecenderungan penurunan total panjang akar seiring dengan meningkatnya konsentrasi Al-monomerik di dalam tanah. Kesimpulan dari percobaan ini bahwa akar kelapa sawit cukup toleran terhadap Al, berarti penghambatan pertumbuhan akar sawit di lapisan bawah bukan disebabkan oleh Al, tetapi mungkin dibatasi oleh kepadatan tanah, atau kondisi jenuh air, namun demikian penelitian lebih lanjut masih perlu dilakukan.

SUMMARY

EVA AYU RAHMAWATI. 125040201111193. Inhibition of Oil Palm Root Growth by a high concentration of Aluminum in Sub-Soil. Improvement of Root Growth by applying a mix of Lime and Compost. Supervised by Kurniatun Hairiah and Widiyanto.

Root growth of oil palm in acid soils generally hindered in the sub-soil, it may decreasing the efficiency of water and nutrients use. There are three external factors that limit the development of oil palm roots in the sub-soil, which is a high soil bulk density, water saturated and Al toxicity. However, most commonly found is related to Al toxicity in the deeper layer.

The purpose of this study was to evaluate roots damage of oil palm by the presence of Al toxicity, and efforts to improve oil palm root growth by adding a mixture of lime (kapur pertanian=Kaptan) and compost of EFB (empty fruit bunch) based on a single-pot experiment. The research was carried out in nursery plot of Research Center of PT. Astra Agro Lestari, Pangkalan Bun, Central Kalimantan from January to May 2016. This research experiment used the randomized block design, replicated 4 times with 11 treatments are: control (without adding any treatment), applying 4 doses of Al (100, 200, 300 and 400 μM), applying 3 doses of Kaptan (0.5, 1.0, and 1.5 actual doses of Kaptan) and 3 doses of Kaptan (0.5, 1.0, and 1.5 actual doses of Kaptan) plus compost.

Based on analysis of variance, total length of the root (Lrv) and root dry weight (Drv) of oil palm seedlings were not significantly different ($p>0.05$). It seems that oil palm roots were tolerant to Al toxicity. Improving root growth by applying a mix of lime 1x field dose plus compost tend to ($0.10>p>0.05$) increase Lrv up to 49%, and increasing Drv significantly ($p<0.05$) up to 72% compared to apply lime without compost. While increasing dosage of lime plus compost was not able to increase Lrv and Drv. The average of Lrv for all treatments were 0.14 cm cm^{-3} while Drv were 2.3×10^{-4} g cm^{-3} . Shoot:root ratio of oil palm seedling from this experiment average was 10:1.

The reduction of total root length density was not well correlated with the concentration of Al-monomeric ($r=0.082$), but it still showed that Lrv tend to be lowered when Al-monomeric concentration increased in the soil. The conclusion from this experiment that the roots of oil palm quite tolerant to Al, it means that inhibition of root growth of oil palm in sub-soil layer is not caused by Al, but may be limited by the density of the soil, or water saturated conditions, however, it is suggested that further research needs to be done.

KATA PENGANTAR

Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) banyak menempati tanah-tanah yang memiliki tingkat kesuburan fisik dan kimia yang rendah, sehingga kurang menguntungkan untuk pertumbuhan tanaman. Kondisi tanah di perkebunan kelapa sawit yang masam dan mengalami pemadatan mengundang penulis untuk melakukan penelitian ini.

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan kasih sayang serta izin-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Hambatan Pertumbuhan Akar Kelapa Sawit oleh Aluminium di Lapisan Tanah Bawah. Penambahan Campuran Kapur dan Kompos untuk Memperbaiki Pertumbuhan Akar”.

Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Cahyo Sri Wibowo selaku kepala divisi *Research and Development* PT. Astra Agro Lestari, Tbk. yang telah memberi kami kepercayaan untuk melakukan penelitian. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Bapak Wahyu Suprpto, S.Si atas bantuannya dalam fasilitas dan operasional sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar, kemudian Chairul Anshari, S.P. yang telah menjadi pembimbing sekaligus sahabat bagi kami selama kami melakukan kegiatan magang hingga penelitian.

Terima kasih juga kepada Ibu Endah Noor Kharisma dan Ibu Hukmaeni atas bantuan, saran, semangat dan kebersamaan selama ini. Tidak lupa ucapan terima kasih kepada Bapak M. Yusuf Hermawan yang telah banyak membantu kami dalam melakukan analisis kimia, Bapak Herman dan Bapak Irawan yang telah mendampingi, mendengarkan keluh kesah kami di lapang dan memberikan banyak bantuan kepada kami, serta seluruh staf dan karyawan *Research Center* PT. Astra Agro Lestari Tbk. yang belum disebutkan satu persatu, yang telah memberikan arahan, bantuan dan saran selama penulis melakukan penelitian.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Ibu Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D., selaku dosen pembimbing

utama yang telah bijaksana dan sabar dalam membimbing dan menyalurkan ide dan ilmu kepada penulis serta semua waktu, motivasi, apresiasi dan nasihat yang telah diberikan dalam proses penyelesaian skripsi ini.

Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Bapak Ir. Widiyanto, M.Sc. dan Ir. Didik Suprayogo, M.Sc. Ph.D selaku dosen pembimbing proyek penelitian kerjasama UB-ASTRA yang telah memberikan nasihat dan semangat, serta saran dan masukan selama proses penelitian hingga penyusunan tugas akhir. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Iva Dewi Lestariningsih, S.P., M.Agr.Sc. dan Rika Ratna Sari, S.P. atas bantuan dan arahan selama ini.

Penghargaan yang tulus penulis berikan kepada kedua orang tua dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, kasih sayang dan motivasi baik moral maupun materi sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan dengan baik. Terima kasih juga kepada teman-teman satu tim, Eka, Maria, Radit dan Zuli yang selalu bersama dalam suka dan duka selama 9 bulan, teman-teman Jurusan Tanah khususnya Ima, Hana, Nisa', Azizah, Hasby, Syaiful, Syaifullah, Yasir, Ihsan, Febri, Mas Tio dan Mas Kiky serta teman-teman Agroekoteknologi 2012 khususnya Fanni, Novi, Fahma, Fefira, Faroki serta keluarga besar cemara yang belum disebutkan satu persatu atas dukungan dan kebersamaan selama ini.

Semoga segala pertolongan dan kebaikan semuanya mendapatkan berkah dan balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari atas segala kekurangan dalam penyusunan baik isi materi maupun redaksi kalimat yang disampaikan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat diperlukan untuk memperbaiki mutu penulisan selanjutnya dan juga kebaikan penulis secara pribadi.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan memberikan sumbangan pemikiran dalam kemajuan ilmu pengetahuan.

Malang, Agustus 2016

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pasuruan pada tanggal 24 Mei 1994 sebagai putri pertama dari Bapak Zainal Fanani dan Ibu Agustina Dwi Dasawati.

Penulis menempuh jenjang pendidikan dasar di SD Negeri 1 Kalirejo pada tahun 2000 hingga 2006 dan melanjutkan di SMP Negeri 2 Bangil tahun 2006 hingga 2009. Kemudian meneruskan pendidikan di SMA Negeri 1 Bangil pada tahun 2009 di jurusan IPA dan selesai tahun 2012. Pada tahun 2012 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata 1 Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya melalui jalur undangan, kemudian mengambil minat Manajemen Sumber Daya Lahan di Jurusan Tanah pada tahun 2014.

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Mata Kuliah Dasar Ilmu Tanah pada tahun 2013, Teknologi Pupuk dan Pemupukan tahun 2014, Pertanian Berlanjut dan Manajemen Kesuburan Tanah pada tahun 2016. Penulis pernah mengikuti Kegiatan Analisis Lahan dan Pengabdian Masyarakat (KALDERA) tahun 2014 dan aktif dalam kepanitiaan Pasca Galang Mitra dan Kenal Profesi (GATRAKSI) pada tahun 2015. Penulis melaksanakan kegiatan magang kerja dan penelitian di perkebunan kelapa sawit PT. Astra Agro Lestari, Tbk., Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah pada September 2015 hingga Mei 2016.



DAFTAR ISI

RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
RIWAYAT HIDUP	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
 I. PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Manfaat.....	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Hipotesis.....	4
 II. TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Pembibitan Kelapa Sawit	5
2.2 Perakaran Kelapa Sawit.....	5
2.3 Toksisitas Aluminium pada Akar Tanaman	7
2.4 Ameliorasi Aluminium.....	8
 III. METODE PENELITIAN	 10
3.1 Tempat dan Waktu	10
3.2 Kondisi Umum Lokasi Percobaan.....	10
3.3 Alat dan Bahan	11
3.4 Metode Pelaksanaan	13
 IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	 19
4.1 Respon Akar terhadap Penambahan Aluminium dan Amelioran pada Pot Tunggal.....	19
4.2 Hubungan Tajuk dengan Akar Tanaman.....	22
4.3 Kondisi Tanah	25
4.4 Hubungan pH Tanah dengan Konsentrasi Aluminium dalam Tanah.....	28
4.5 Hubungan Konsentrasi Aluminium dengan Total Panjang Akar	29
 V. KESIMPULAN DAN SARAN	 31
5.1 Kesimpulan.....	31
5.2 Saran	31
 DAFTAR PUSTAKA.....	 32
LAMPIRAN.....	37

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Karakteristik Tanah Lahan Pengamatan.....	11
2.	Kombinasi perlakuan pada percobaan single pot.....	13
3.	Variabel yang diamati dan waktu pengamatannya	14
4.	Dosis Kapur Pertanian dan Kompos Tankos pada berbagai perlakuan.....	15
5.	Jenis dan metode Analisis Tanah	18
6.	Kondisi kimia tanah sebelum perlakuan	25



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Skema diagnosis pemicu terjadinya masalah, upaya perbaikan dan output yang diharapkan	1
2.	Pendugaan hubungan konsentrasi Al dan Amelioran terhadap total panjang akar (Lrv)	4
3.	Diagram sistem perakaran tanaman kelapa sawit	6
4.	Alat-alat yang digunakan ketika percobaan	11
5.	Bahan-bahan yang digunakan untuk percobaan	12
6.	Skema perlakuan yang diaplikasikan dalam media homogen	14
7.	Intersepsi garis pada pengukuran total panjang akar	16
8.	Total panjang akar (Lrv) seluruh perlakuan	19
9.	Berat kering akar (Drv) seluruh perlakuan	20
10.	Nisbah Lrv/Drv seluruh perlakuan	21
11.	Rata-rata berat kering tajuk tajuk kelapa sawit pada berbagai perlakuan	23
12.	Hubungan berat kering BK akar dengan BK tajuk berbagai perlakuan	24
13.	Nisbah berat kering tajuk dan berat kering akar seluruh perlakuan	25
14.	Perbandingan pH sebelum dan setelah aplikasi perlakuan	27
15.	Konsentrasi Al-dd dan Al-monomerik sebelum dan setelah aplikasi perlakuan	27
16.	Hubungan antara pH aktual dengan Al-dd dan pH potensial dengan Al-dd	28
17.	Hubungan antara pH aktual dengan Al-monomerik dan pH potensial dengan Al-monomerik	29
18.	Hubungan Lrv dengan konsentrasi Al-dd dan Al-monomerik	30

DAFTAR LAMPIRAN

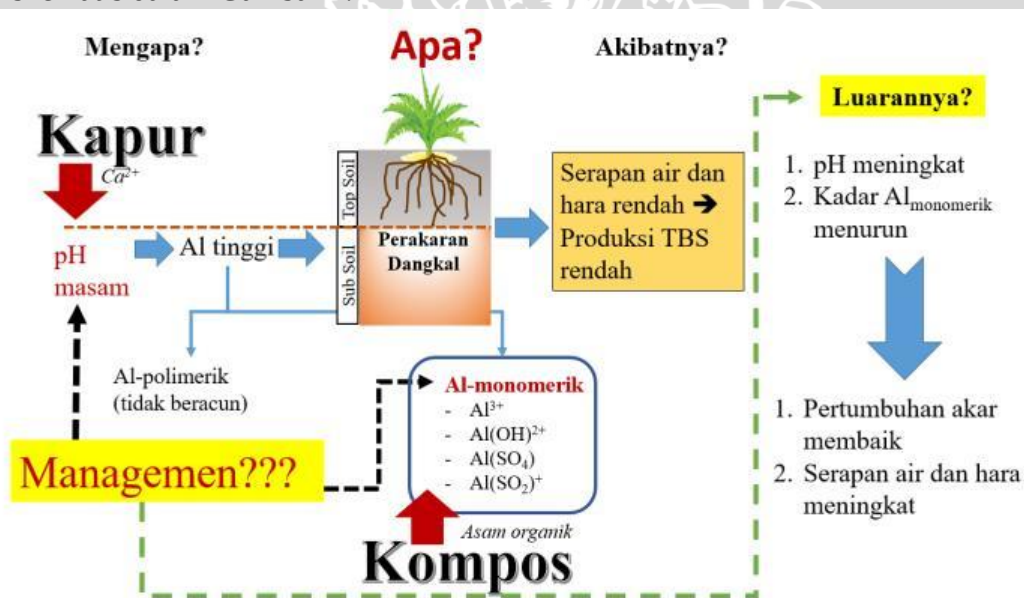
Nomor	Teks.	Halaman
1.	Analisa Ragam Total Panjang Akar (Lrv)	37
2.	Analisa Ragam Berat Kering Akar (Drv)	37
3.	Analisa Ragam Nisbah Lrv/Drv (<i>Specrol</i>)	37
4.	Rata-rata dan Notasi Lrv, Drv, <i>Specrol</i>	38
5.	Analisa Ragam pH H ₂ O	39
6.	Analisa Ragam pH KCl	39
7.	Analisa Ragam Al-dd	39
8.	Analisa Ragam Al-monomerik	39
9.	Perhitungan Pembuatan Larutan Al	40
10.	Skema Pot Percobaan Setelah Diacak	41
11.	Perhitungan Kebutuhan Kapur dan Kompos	42
12.	Kondisi kimia tanah setelah perlakuan	44
13.	Persen Pertumbuhan Vegetatif Kelapa Sawit	45
14.	Hasil Analisis Kimia Kapur Pertanian dan Kompos	46
15.	Dokumentasi Penelitian	47

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan akar kelapa sawit di area PT. Astra Agro Lestari, Tbk., Kumai, Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah terhambat pada tanah lapisan bawah. Perkembangan akar kelapa sawit umumnya terhambat di lapisan bawah Oktovani (2012), sehingga di musim kemarau pertumbuhan kelapa sawit berpotensi besar dibatasi oleh defisit air. Oktovani juga melaporkan bahwa kerapatan akar sawit terutama di zona antar pokok di Kumai tergolong rendah dengan total panjang akar (Lrv) kurang dari $1,0 \text{ cm cm}^{-3}$.

Berdasarkan laporan hasil penelitian di Kumai akhir-akhir ini, bahwa perkembangan perakaran sawit di lapisan bawah dibatasi oleh kepadatan tanah yang tinggi dan keracunan Al (Nurwinda dan Farida, 2015). Permasalahan akar yang berkembang dangkal di Kumai dan upaya mengelolanya disajikan secara skematis dalam Gambar 1.



Gambar 1. Skema diagnosis pemicu terjadinya masalah, upaya perbaikan dan output yang diharapkan

Konsentrasi Al yang tinggi umumnya ditemukan pada bagian tanah lapisan bawah pada pH tanah yang masam. Pada tanah masam, penghambat utama pertumbuhan akar adalah tingginya konsentrasi Al di lapisan bawah (Hairiah *et al.*, 2000), terutama Al inorganik monomerik yang dapat meracuni

pertumbuhan akar tanaman (Hairiah *et al.*, 1992). Menurut Blamey (1983) Al³⁺ terbagi menjadi dua kelompok, yaitu Al monomerik (beracun) dan Al polimerik (tidak beracun).

Menurut Blamey *et al.* (1983) Al di dalam larutan tanah tidak semuanya beracun bagi akar tanaman, bentuk Al yang membatasi pembelahan sel ujung-ujung akar tanaman adalah Al-inorganik monomerik yang terdiri dari Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$, $Al(SO_4)$. Pengaruh langsung Al adalah melalui penghambatan pembelahan sel pada ujung-ujung akar (Foy, 1988), sehingga menurunkan respirasi akar, mengganggu enzim pengatur deposisi polisakarida dalam dinding sel, mengganggu penyerapan, transpor, dan suplai beberapa unsur hara esensial (Ca, Mg, K, P dan Fe) untuk tanaman (Rout, 2001).

Pengaruh tidak langsung Al terhadap pertumbuhan tanaman adalah melalui pengaruhnya terhadap pengikatan P menjadi bentuk $Al(H_2PO_4)_3$ yang sukar larut sehingga menjadi kurang tersedia bagi tanaman. Dengan demikian penanganan masalah keracunan Al dalam tanah sulit untuk dipisahkan dari masalah kekahatan P (Hairiah, 1992). Pietraszewska (2001) menyatakan bahwa toksisitas Al menyebabkan perakaran menjadi gemuk atau tumpul dan jaringannya menjadi kaku sehingga mudah pecah dan ujung akar serta bagian lateral akar menjadi tebal dan cenderung coklat.

Kondisi kimia tanah di Kumai umumnya bersifat masam dengan pH rata-rata 4,5 (Hairiah *et al.*, 2014), dengan kandungan C-organik rendah rata-rata <2,0%, kadar P tersedia rendah rata-rata 10 mg kg⁻¹ dan kandungan unsur beracun Al tinggi rata-rata 2,9 cmol kg⁻¹. Kochian *et al.* (2004) menyatakan bahwa apabila pH media tanam berada di bawah 5, maka Al^{3+} akan larut di dalam larutan media tanam dan menyebabkan keracunan bagi perakaran. Cristancho *et al.*, (2011) melaporkan bahwa bibit kelapa sawit yang tumbuh dalam larutan hara mengandung 200 µm Al selama 80 hari pertumbuhan akar sawit menurun sekitar 47%, sedang berat kering tajuknya menurun 58% bila dibandingkan dengan larutan tanpa Al.

Penambahan kapur di lapangan dilakukan dengan cara ditebar di permukaan tanah, sementara keracunan Al lebih besar terjadi di tanah lapisan

bawah. Pertumbuhan akar kelapa sawit dapat ditingkatkan di lapisan bawah dengan menambahkan dolomit atau bahan organik (biomasa sawit) (Nurwinda, 2015; Permata, 2015) karena bahan amelioran tersebut dapat meningkatkan pH tanah dan menekan kadar Al-monomerik yang beracun bagi pertumbuhan akar kelapa sawit (Farida, 2015).

Guna mempertahankan pH tanah tetap stabil ($>5,0$) dalam jangka panjang agar akar dapat berkembang dengan baik, maka pemberian campuran kapur dan kompos perlu dilakukan. Namun demikian, efek campuran kedua amelioran tersebut terhadap peningkatan pH tanah dan penurunan kadar Al masih belum pernah dicoba, untuk itu percobaan ini perlu dilakukan.

Percobaan *single pot* dengan media homogen diharapkan dapat menggambarkan bagaimana perkembangan akar dalam kondisi tanah yang teracuni Al dengan berbagai macam kadar Al, sehingga akan diketahui tingkat toleransi akar terhadap Al. Kemudian dengan penambahan amelioran Al yaitu kapur pertanian dan kompos dapat memperbaiki pertumbuhan akar kelapa sawit.

1.2 Tujuan

1. Mengevaluasi tingkat kerusakan akar kelapa sawit oleh adanya keracunan Al, dan
2. Upaya perbaikan pertumbuhan akar kelapa sawit dengan menambahkan campuran kapur dan kompos berdasarkan pada percobaan pot tunggal.

1.3 Manfaat

Hasil penelitian ini bermanfaat untuk mengevaluasi tingkat toleransi akar kelapa sawit terhadap keracunan Al yang selanjutnya dapat dipakai sebagai dasar perbaikan strategi manajemen tanah di perkebunan kelapa sawit.

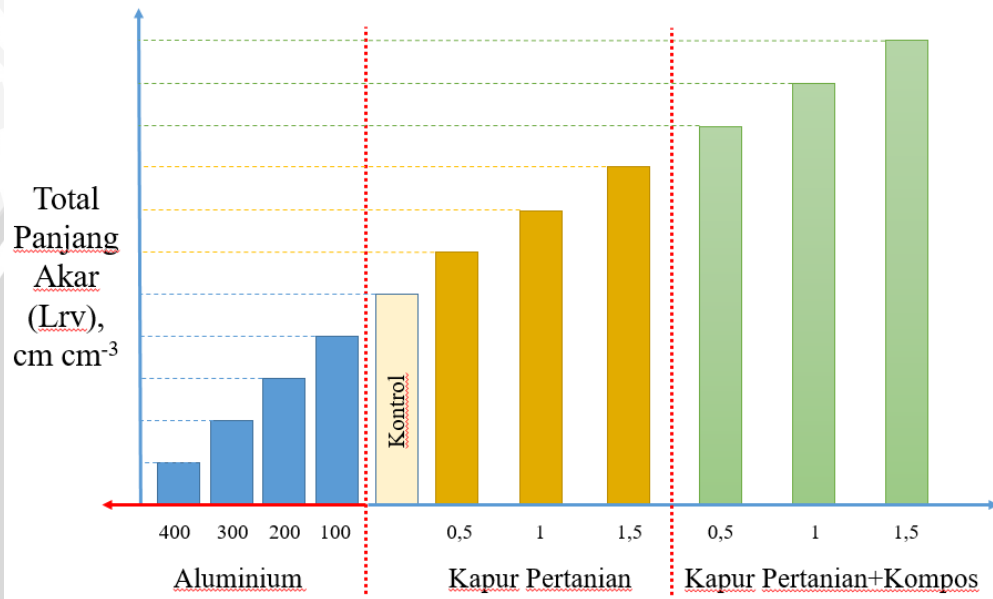
1.4 Rumusan Masalah

Pertumbuhan akar kelapa sawit di lapisan tanah bawah terhambat oleh keracunan Al, namun belum diketahui batas ambang kadar Al yang masih dapat ditolerir oleh akar kelapa sawit. Guna memperbaiki pertumbuhan akar kelapa

sawit di lapisan bawah tersebut, pemberian campuran kapur dan kompos diharapkan dapat mengurangi tingkat beracun Al terhadap akar kelapa sawit.

1.5 Hipotesis

Penambahan amelioran Al berupa kapur dan kompos pada tanah masam mampu meningkatkan pH tanah dan mengurangi konsentrasi Al yang bersifat meracun pada akar tanaman sawit (Gambar 2).



Gambar 2. Pendugaan hubungan konsentrasi Al dan Amelioran terhadap total panjang akar

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembibitan Kelapa Sawit

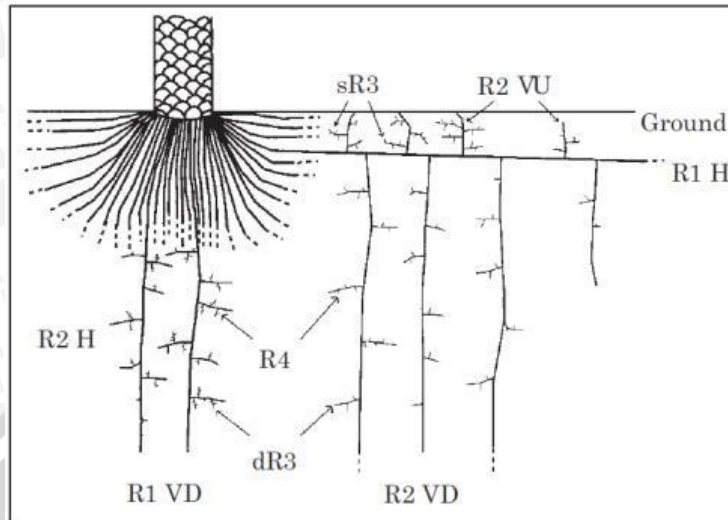
Pembibitan ada 2 tahap yaitu pembibitan awal (*Pre-nursery*) dan pembibitan utama (*Main Nursery*). Pembibitan awal dilakukan kurang lebih 3 bulan. Persyaratan lokasi pembibitan pada tahap *pre-nursery* adalah: 1) datar (rata) dan dekat dengan sumber air, 2) ada naungan, bisa berupa atap atau pohon hidup, 3) berpagar agar hewan tidak masuk dan merusak areal pembibitan, 4) dekat dengan sumber media, 5) dekat jalan dan mudah diawasi (Sunarko, 2007).

Masa di pembibitan awal (*pre-nursery*) adalah sejak penanaman kecambah sampai bibit berumur 3 bulan. Pada tahap pertumbuhan awal, kebutuhan unsur hara tanaman masih dapat disediakan oleh biji itu sendiri. Selanjutnya secara berangsur-angsur tanaman mulai mengambil unsur hara dari tanah. Pemeliharaan di pembibitan utama (*main nursery*) berlangsung sejak bibit berumur 3 bulan sampai dengan 12 bulan. Pada fase ini tanaman sudah mengambil unsur hara seluruhnya dari luar (Sukarji, 1982).

Media tanam yang digunakan seharusnya adalah tanah yang berkualitas baik, misalnya tanah bagian atas (*top soil*) pada ketebalan 10-20 cm. Tanah yang digunakan harus memiliki struktur yang baik, gembur, serta bebas kontaminasi (hama dan penyakit, pelarut, residu dan bahan kimia) (Yurikha, 2009).

2.2 Perakaran Kelapa Sawit

Kelapa sawit tergolong tanaman berakar serabut (Gambar 3). Susunan akar kelapa sawit terdiri dari: a) Akar serabut primer, tumbuh ke bawah dan ke samping, b) Akar serabut sekunder, merupakan cabang akar serabut primer yang bercabang ke atas dan ke bawah, c) Akar serabut tersier, merupakan cabang akar sekunder yang selanjutnya bercabang lagi, merupakan bulu-bulu akar (*pilus radicalis*) dan akar inilah yang banyak menyerap hara makanan dan berfungsi sebagai alat pernafasan, d) Tudung akar (*calyptra*), yaitu bagian yang paling ujung letaknya dari akar, terdiri dari jaringan yang berguna untuk melindungi ujung akar yang masih muda dan lemah (Pahan, 2008).



Keterangan: R1 VD akar primer vertikal; R1 H akar primer horizontal; R2 VU akar sekunder vertikal ke atas; R2 VD akar sekunder vertikal ke bawah; R2 H akar sekunder horizontal; sR3 akar tersier superfisal; dR3 akar tersier dalam; dan R4 akar kuartern (Jourdan *et al.*, 1995).

Gambar 3. Diagram sistem perakaran tanaman kelapa sawit.

Menurut Fauzi *et al.*, (2008) akar sekunder, tersier, dan kuarter tumbuh sejajar dengan permukaan tanah bahkan akar tersier dan kuarter menuju ke lapisan atas atau ke tempat yang banyak mengandung zat hara. Akar primer dan sekunder kelapa sawit berfungsi sebagai jangkar, sedangkan akar tersier dan kuarter berfungsi sebagai akar absorpsi air dan hara. Mekanisme intersepsi akar sebenarnya merupakan pertukaran secara langsung antara hara dengan akar. Dengan demikian semakin banyak akar yang bersentuhan dengan hara, maka akan semakin banyak hara yang tersedia. Intersepsi akar dipengaruhi oleh sistem perakaran dan konsentrasi unsur hara pada daerah perakaran (Leiwakabessy, 1988).

Pada umumnya pertumbuhan akar tanaman akan terhambat dengan semakin meningkatnya BI (Oktoviani, 2012). Selain itu, perkembangan sistem perakaran tanaman sering kali dihambat oleh tingginya konsentrasi Aluminium (Hairiah, 1992) sehingga perakaran sawit terbatas dilapisan tanah atas. Gejala keracunan Al mudah dikenali dengan mengamati perakarannya, karena akar adalah bagian tanaman yang langsung terpengaruh oleh keracunan Al (bukan pada tajuknya). Dengan demikian tanaman yang tidak tahan terhadap Al akarnya akan menghindari lapisan ini sehingga perakarannya menjadi dangkal.

2.3 Toksisitas Aluminium pada Akar Tanaman

Aluminium dapat berpengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap perkembangan sistem perakaran tanaman. Pengaruh langsung Al adalah melalui penghambatan pembelahan sel pada ujung-ujung akar (Foy, 1988), sehingga fungsi akar dalam menyerap air dan hara menjadi terganggu. Tingkat meracun Al dalam larutan tanah berhubungan erat dengan tingginya konsentrasi Al-inorganik monomerik yang terdiri dari Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{SO}_4)$ (Blamey *et al.*, 1983).

Pengaruh tidak langsung Al terhadap perkembangan akar tanaman adalah melalui pengaruhnya terhadap pengikatan P. Ion Al pada tanah masam akan mengikat P menjadi bentuk $\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$ yang sukar larut sehingga menjadi kurang tersedia bagi tanaman. Dengan demikian penanganan masalah keracunan Al dalam tanah sulit untuk dipisahkan dari masalah kekahatan P (Hairiah, 1992).

Pietraszewska (2001) menyatakan bahwa toksisitas Al menyebabkan perakaran menjadi gemuk atau tumpul dan jaringannya menjadi kaku sehingga mudah pecah dan ujung akar serta bagian lateral akar menjadi tebal dan cenderung coklat. Kochian *et al.* (2004) menyatakan bahwa apabila pH media tanam berada di bawah 5, maka Al^{3+} akan larut di dalam larutan media tanam dan menyebabkan keracunan bagi perakaran.

Mekanisme toleransi tanaham terhadap Al terbagi dua kelompok, yaitu: 1) mekanisme eksternal (pengusiran Al), dapat berupa immobilisasi Al di dinding sel, selektivitas membrane plasma terhadap Al, induksi pH di daerah rhizosfer atau apoplas akar, sekresi senyawa-senyawa pengkhelat Al; 2) mekanisme internal yaitu kemampuan tanaman menetralkan Al, mencakup pengkhelatan Al di sitosol, mengurung Al dalam vakuola, sintesis protein pengikat Al, penurunan aktivitas beberapa enzim tertentu, dan induksi akumulasi protein tertentu (Taylor, 1991).

Kedua mekanisme tersebut terkait erat dengan senyawa organik didalam tanaman maupun yang disekresikan. Asam oxalate, asam sitrat, asam malat, beberapa jenis protein, gugus fenolik merupakan beberapa contoh senyawa

organik yang dikembangkan tanaman untuk mengatasi toksisitas Al (Firmansyah, 2010).

2.4 Ameliorasi Aluminium

Amelioran adalah bahan yang dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan kondisi fisik dan kimia (Najiyati, 2003). Ameliorasi diperlukan untuk mengatasi kendala reaksi tanah masam dan keberadaan asam organik beracun sehingga media perakaran tanaman menjadi lebih baik. Kapur, tanah mineral, pupuk kandang dan abu sisa pembakaran dapat diberikan sebagai bahan amelioran untuk meningkatkan pH dan basa-basa tanah (Mario, 2002).

Kriteria amelioran yang baik adalah memiliki kejenuhan basa (KB) yang tinggi, mampu meningkatkan derajat pH secara nyata, mampu memperbaiki struktur tanah, memiliki kandungan unsur hara yang lengkap, dan mampu mengusir senyawa beracun terutama asam-asam organik. Amelioran dapat berupa bahan organik maupun anorganik (Agus dan Subiksa, 2008).

Kemasaman dan kejenuhan Al yang tinggi dapat dinetralkan dengan pengapuran. Pemberian kapur bertujuan untuk meningkatkan pH tanah dari sangat masam atau masam ke pH agak netral atau netral, serta menurunkan kadar Al. Untuk menaikkan kadar Ca dan Mg dapat diberikan dolomit, walaupun pemberian kapur selain meningkatkan pH tanah juga dapat meningkatkan kadar Ca dan kejenuhan basa. Takaran kapur didasarkan pada Al-dd atau persentase kejenuhan Al, pengapuran sebaiknya hanya dilakukan bila pH tanah di bawah 5, karena pada pH di atas 5,50 respons Al rendah karena sudah mengendap menjadi $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006).

Bentuk kapur yang paling banyak digunakan adalah Kalsium Karbonat (CaCO_3) dan Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), karena merupakan kapur pertanian yang mempunyai keuntungan tidak meninggalkan residu merugikan dalam tanah, murah, dijumpai dalam jumlah banyak dan memberikan efek menguntungkan terhadap sifat fisik tanah (Soepardi, 1983).

Salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk mengatasi persoalan defisiensi hara pada tanah mineral masam berkadar Al tinggi adalah melalui penambahan bahan organik (Hairiah *et al.*, 2000). Pemberian pupuk organik

seperti kompos bertujuan untuk meningkatkan bahan organik yang memberikan banyak manfaat bagi tanah, antara lain mensuplai nitrogen, dan sulfur, meningkatkan serapan P oleh tanaman, meningkatkan kapasitas tukar kation tanah dan pengikatan air yang tersedia bagi tanaman (Greenland and Dart, 1972).

Menurut Suntoro (2001) pengaruh penambahan bahan organik terhadap pH tanah dapat meningkatkan atau menurunkan tergantung oleh tingkat kematangan bahan organik yang kita tambahkan dan jenis tanahnya. Apabila diberikan pada tanah yang masam dengan kandungan Al tertukar tinggi, akan menyebabkan peningkatan pH tanah, karena asam-asam organik hasil dekomposisi akan mengikat Al membentuk senyawa kompleks (khelat), sehingga Al-tidak terhidrolisis lagi.

Pada perbaikan pengelolaan tanah masam, maka penambahan bahan organik adalah cara yang mudah dan dapat diaplikasikan secara luas. Pemberian bahan organik dengan jumlah antara 8,5-10 ton ha⁻¹ mampu menurunkan toksisitas Al melalui pengkhelatan Al oleh senyawa humik (Firmansyah, 2010). Menurut Sarwono (2008) janjang kosong merupakan limbah dengan volume yang paling banyak dari proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) pada pabrik kelapa sawit, mencapai 21% dari TBS yang diolah sehingga berpotensi bila dimanfaatkan sebagai bahan organik di perkebunan kelapa sawit.

III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Percobaan semi terkontrol dilakukan di kebun pembibitan *Research and Development* PT. Astra Agro Lestari Tbk. (UB-ASTRA) di Kumai, Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah yang diselenggarakan pada bulan Januari hingga April 2016. Media yang digunakan untuk percobaan adalah media tanah lokal dalam kondisi yang homogen (*single pot*). Kegiatan ini merupakan bagian dari kegiatan kerjasama penelitian antara Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya dengan PT. Astra Agro Lestari Tbk. (UB-ASTRA). Analisis tanah dan tanaman dilakukan di laboratorium kimia PT. Astra Agro Lestari Tbk.

3.2 Kondisi Umum Lokasi Percobaan

3.2.1 Kondisi Curah Hujan

Berdasarkan rata-rata curah hujan bulanan dari tahun 1990-2011 (10 tahun) yang ada di PT. Agro Menara Rachmat, lokasi percobaan ini tergolong sebagai tipe B-1 (berdasarkan Klasifikasi Oldeman) yang merupakan tipe iklim dengan jumlah bulan basah (curah hujan >200 mm bulan⁻¹) antara 7-9 bulan dan jumlah bulan kering (curah hujan <100 mm bulan⁻¹) kurang dari 2 bulan (Subandriya, 2012).

Curah hujan yang terjadi di lokasi percobaan (berdasarkan Klasifikasi Schmidth-Fergusson) rata-rata sebesar 2443 mm tahun⁻¹ dengan jumlah hari hujan rata-rata 101 hari tahun⁻¹ dengan bulan basah (>100 mm/bulan) jatuh pada bulan September hingga Juli (Oktovani, 2012).

3.2.2 Karakteristik Fisika-Kimia Tanah

Tanah yang ada di lokasi penelitian merupakan tanah berordo Ultisols. Ultisols merupakan tanah yang tergolong tua dan masam karena intensifnya pencucian hara yang terjadi pada tanah tersebut. Tekstur tanah pada ordo Ultisols didominasi oleh tekstur loam berklei (Oktovani, 2012). Karakteristik fisiko-kimia tanah ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Tanah Lahan Pengamatan (Oktovani, 2012).

Blok	Kedalaman (cm)	Pasir	Debu	Klei	BI (g cm ⁻³)	pH H ₂ O	pH KCl	C- organik (%)
		(%)						
OA 29 AMR	0-10	44	28	28	1,08	4,56	3,93	4,16
	10-20	47	20	33	1,15	4,47	3,96	2,52
	20-30	39	17	44	1,19	4,38	3,98	1,69

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Percobaan *single pot* menggunakan polybag berdiameter 25 cm dengan tinggi 30 cm (volume 15 kg), ayakan tanah ukuran lubang ayak 2 mm, timbangan, jangka sorong dan penggaris, seperti yang disajikan pada Gambar 4.



(a)



(b)



(c)



(d)

Keterangan: (a) Polybag yang telah diisi tanah lolos ayak 2 mm. (b) Ayakan tanah 2 mm. (c) Jangka sorong. (d) Pengukuran tinggi tanaman menggunakan penggaris 100 cm.

Gambar 4. Alat-alat yang digunakan untuk percobaan.

3.3.2 Bahan

Tanah lapisan bawah yang digunakan untuk percobaan diambil dari blok OA 29 AMR pada kedalaman 30-60 cm. Guna mempertahankan kelembaban tanah digunakan air kran biasa untuk menyiram tanaman selama percobaan. Bahan kimia Aluminium (Al) yang digunakan adalah $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (100 μM , 200 μM , 300 μM dan 400 μM) dengan perhitungan pembuatan larutannya dicantumkan pada Lampiran 9, amelioran Al yaitu kapur pertanian (Kaptan) dan kompos dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS atau Tankos) serta bibit sawit berumur ± 5 bulan (usia *main nursery*), seperti yang disajikan pada Gambar 5.



Keterangan: (a) Bibit kelapa sawit umur 5 bulan. (b) Pengambilan Kompos Tankos. (c) Penambahan larutan AlCl_3 . (d) Pencampuran Kaptan, Kompos dan Air.

Gambar 5. Bahan-bahan yang digunakan untuk percobaan

3.4 Metode Pelaksanaan

3.4.1 Rancangan Percobaan

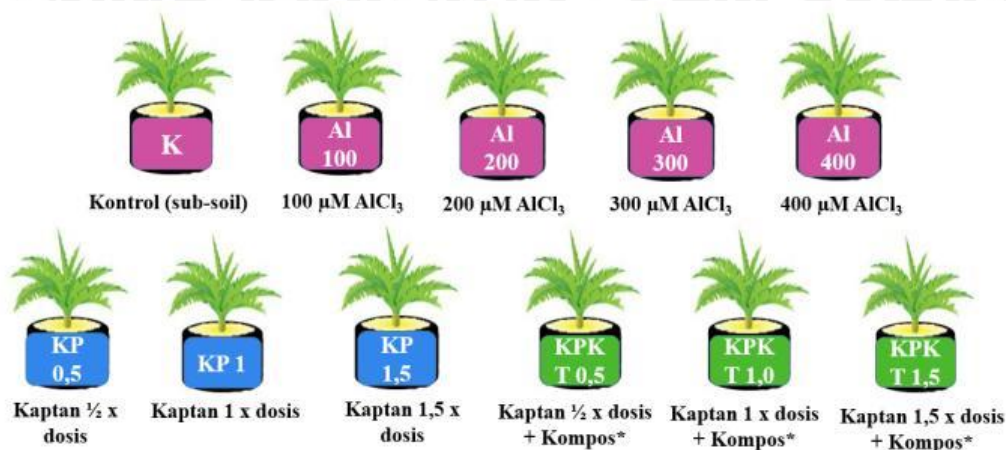
Dalam percobaan ini terdapat 11 macam perlakuan, yaitu 4 macam perlakuan penambahan AlCl_3 , 3 macam perlakuan penambahan Kapur Pertanian (Kaptan), 3 macam perlakuan penambahan Kaptan + Kompos dan 1 tanpa perlakuan atau sebagai kontrol (Tabel 2) yang secara skematis dijelaskan dalam Gambar 6. Kombinasi perlakuan disusun menurut Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 4 kali ulangan dengan skema hasil pengacakan dicantumkan pada Lampiran 10.

Tabel 2. Kombinasi perlakuan pada percobaan single pot

Uji toleransi akar kelapa sawit dengan kadar Al 4 taraf			
No.	Perlakuan (Sub-soil)	Konsentrasi (μM)	Kode
1.	Tanpa ditambah AlCl_3 (kontrol)	-	K
2.	Ditambah AlCl_3	100	Al 100
3.	Ditambah AlCl_3	200	Al 200
4.	Ditambah AlCl_3	300	Al 300
5.	Ditambah AlCl_3	400	Al 400
Pembenahan kondisi tanah dengan menambahkan amelioran Al			
No.	Perlakuan	Dosis (g)	Kode
6.	Kapur Pertanian (Kaptan) $\frac{1}{2}$ kali dosis	1,113	KP 0,5
7.	Kapur Pertanian (Kaptan) 1 kali dosis	2,225	KP 1
8.	Kapur Pertanian (Kaptan) 1,5 kali dosis	4,45	KP 1,5
9.	Kapur Pertanian (Kaptan) $\frac{1}{2}$ kali dosis + Kompos*	1,113	KPKT 0,5
10.	Kapur Pertanian (Kaptan) 1 kali dosis + Kompos*	2,225	KPKT 1,0
11.	Kapur Pertanian (Kaptan) 1,5 kali dosis + Kompos*	4,45	KPKT 1,5

*Keterangan: Dosis Kompos tiap perlakuan sama yaitu $49,08 \text{ g polybag}^{-1}$ (setara 15 Mg ha^{-1})

Setiap perlakuan dilakukan 4 ulangan, percobaan ini dilakukan selama 8 minggu setelah aplikasi perlakuan, sehingga jumlah bibit yang digunakan: {5 (Kadar Al) + 3 (Dosis Kapur Pertanian) + 3 (Dosis Kapur Pertanian + Kompos)} x 4 ulangan = 44 bibit sawit. Parameter yang diamati dijelaskan pada Tabel 3. Pemanenan akan dilakukan pada minggu ke-8 setelah aplikasi.



Gambar 6. Skema perlakuan yang diaplikasikan dalam media homogen (pot tunggal)

3.4.2 Variabel Pengamatan

Beberapa variabel yang diukur dalam percobaan single pot ini dijabarkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Variabel yang diamati dan waktu pengamatannya

Pengamatan	Variabel Pengamatan	Waktu
Tanaman	Tajuk	
	Berat Kering Tajuk (g)*	Akhir percobaan
	Tinggi Tanaman (cm)	2 minggu sekali
	Jumlah Daun	2 minggu sekali
	Panjang Daun (cm)	2 minggu sekali
	Diameter Bonggol (cm)	2 minggu sekali
	Akar	
	Total panjang akar (Lrv, cm cm ⁻³)*	Akhir percobaan
	Berat Kering Akar (Drv, g cm ⁻³)*	Akhir percobaan
	<i>Specrol</i> (Lrv/Drv, cm g ⁻¹)*	Akhir percobaan
Tanah	pH tanah (KCl dan H ₂ O)*	1 bulan sekali
	C-Organik	1 bulan sekali
	Kation Basa dd (Ca, Mg, K)	Awal dan akhir percobaan
	P tersedia	Awal dan akhir percobaan
	Al-dd*	Awal dan akhir percobaan
	Al-monomerik*	Awal dan akhir percobaan

*Keterangan: Variabel pengamatan utama

3.4.3 Penyiapan Bahan Amelioran Al

Jumlah kapur dan kompos yang diaplikasikan adalah merujuk pada dosis lapang yang biasa digunakan di PT AAL, yaitu kapur pertanian 0,68 Mg ha⁻¹ dan

kompos 15 Mg ha⁻¹ kemudian dikonversi ke satuan polybag (Tabel 4). Hasil perhitungan kebutuhan Kapur Pertanian dan Kompos Tankos dilaporkan dalam Lampiran 11.

Tabel 4. Dosis Kapur Pertanian dan Kompos Tankos pada berbagai perlakuan

No.	Perlakuan	Dosis (g polybag ⁻¹)	
		Kapur	Kompos Tankos
1.	Tanpa Amelioran (Kontrol)	-	-
2.	KP 0,5	1,113	-
3.	KP 1	2,225	-
4.	KP 1,5	4,45	-
5.	KPKT 0,5	1,113	49,08
6.	KPKT 1,0	2,225	49,08
7.	KPKT 1,5	4,45	49,08

3.4.4 Persiapan Tanah dan Penanaman Bibit untuk Percobaan

Contoh tanah diambil dari lapisan tanah bawah (30-60 cm) pada blok OA 29 AMR jalur ke 60. Semua contoh tanah dicampur rata, dikering anginkan, dipukul pelan-pelan dengan kayu untuk memecahkan gumpalan tanah agar diperoleh ukuran partikel yang seragam, kemudian dilanjutkan dengan pengayakan menggunakan ayakan ukuran 2 mm.

Jumlah tanah per polybag, dapat dihitung berdasarkan volume polybag yang digunakan dengan BI tanah 1,2 g cm⁻³. Contoh tanah untuk uji toleransi akar dicampur dengan larutan AlCl₃ dengan kadar sesuai perlakuan (volume pemberian larutan AlCl₃ hingga kapasitas lapang yaitu 1,5 liter polybag⁻¹), dicampur rata, dimasukkan ke dalam polybag dan diinkubasi selama satu minggu. Sedangkan contoh tanah untuk peningkatan pertumbuhan akar dicampur dengan kaptan sesuai perlakuan, kemudian ditambahkan kompos sesuai perlakuan, lalu dicampur rata, dimasukkan ke dalam polybag dan diinkubasi selama satu minggu.

Setelah satu minggu, tanah disiram hingga kondisi air kapasitas lapangan. Setelah lingkungan di dalam polybag stabil, maka bibit kelapa sawit dapat ditanam sesuai dengan prosedur penanaman yang digunakan di PT. AAL. Tanah disesuaikan dengan BI tanah di lapang, yaitu 1,2 g cm⁻³ dengan memadatkan tanah dalam polybag. Perawatan tanaman selama percobaan dilakukan menurut

prosedur yang biasa digunakan di PT. AAL serta diamati variabel pengamatan yang dibutuhkan.

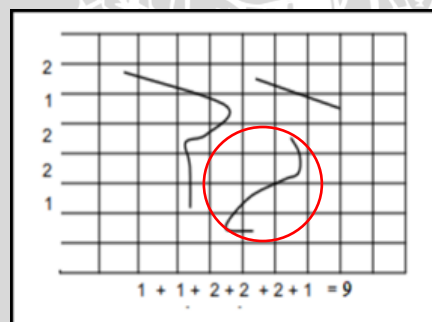
3.4.5 Pemanenan dan Pengambilan Contoh Tanah dan Tanaman

Pemanenan dilakukan 8 minggu setelah perlakuan. Pengambilan akar dilakukan secara keseluruhan dengan jalan memotong biomasa tanaman atas, akar masih tertinggal dalam tanah. Pemisahan antara akar tanaman kelapa sawit dengan tanah, dilakukan dengan disiram air pada contoh tanah dan akar yang diletakkan pada ayakan tanah ukuran 10 *mesh* di atas ayakan ukuran yang lebih halus, yaitu 270 *mesh*.

Contoh akar dibersihkan dari tanah dan bahan organik yang ada, dan contoh akar yang telah bersih diukur total panjang akar (L_{rv}) menurut metode perpotongan garis dari Tennant (1976) dan berat kering akar (D_{rv}).

a) Pengukuran Total Panjang Akar (L_{rv} , cm cm^{-3})

Pengukuran total panjang akar (L_{rv} , cm cm^{-3}) dan berat kering akar (D_{rv} , g cm^{-3}) dengan estimasi perhitungan jumlah perpotongan akar dengan garis grafik atau metode Tennant (van Noordwijk *et al.*, 2000). Contoh akar diambil sub-contohnya dan dipotong-potong sepanjang 2 cm, yang kemudian disebar di atas kertas grafik yang dilapisi kaca ukuran 25 x 25 cm (Gambar 7).



Keterangan: Lingkaran merah adalah sub-sampel akar

Gambar 7. Intersepsi garis pada pengukuran total panjang akar (van Noordwijk *et al.*, 2000)

Setelah itu, dilakukan perhitungan jumlah perpotongan akar dengan garis horizontal dan vertikal dari kertas grafik menggunakan alat bantu *hand counter*. Untuk menghitung total panjang akar (L_{rv} , cm/cm^3) menggunakan rumus:

$$L_{rv} = \pi \{ (H+V)D \} / 4$$

Keterangan: D = Ukuran grafik yang dipakai, cm.

H = Jumlah perpotongan akar dengan garis horizontal

V = Jumlah perpotongan akar dengan garis vertikal

Selanjutnya contoh akar dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C, dan selanjutnya ditimbang berat masanya untuk mengestimasi berat kering akar.

b) Pengukuran Berat Kering Akar (Drv , $g\ cm^{-3}$)

Penentuan berat kering akar menggunakan metode gravimetri, yaitu penentuan berat kering dengan jalan penimbangan. Sub-sampel dan sisa sub-sampel akar ditimbang untuk mengetahui berat basah dan masing-masing dimasukkan dalam amplop kertas terpisah. Selanjutnya, dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 48 jam dan ditimbang berat keringnya (baik sub sampel maupun sisa dari sub-sampel) menggunakan timbangan analitik.

$$Drv = ((B_{btot} / B_{bsub}) \times Lrv\ sub) \times Volume\ Tanah$$

$$Lrv_{tot} = (TotBK / B_{bsub}) \times Lrv_{sub}$$

c) Nisbah Lrv dan Drv (*Specrol*)

Nisbah nilai Lrv dan Drv atau disebut dengan '*Specrol*' (*specific root length density*) adalah penghitungan untuk memperoleh gambaran secara tidak langsung ukuran (diameter) akar dengan satuan $cm\ g^{-1}$ biomasa akar. Semakin tinggi nilai *Specrol* menunjukkan semakin kecil diameter akar, artinya akar semakin halus.

3.4.6 Analisis Laboratorium

Contoh tanah dari setiap pot diambil sekitar 100 g, dikering anginkan, selanjutnya dianalisis pH (H_2O dan KCl), kation (Ca , Mg , K), $Al-dd$, $Al-monomerik$. Metode yang digunakan untuk pengukuran analisis tanah adalah metode analisis yang diambil berdasarkan instruksi kerja laboratorium analisis kimia PT. Astra Agro Lestari Tbk. (Tabel 5).

Tabel 5. Jenis dan metode Analisis Tanah

No.	Parameter	Metode
1	pH	Elektrometri
2	C-Organik	Walkley and Black
3	Ca (cmol kg ⁻¹)	NH ₄ OAC 1N pH 7
4	Mg (cmol kg ⁻¹)	NH ₄ OAC 1N pH 7
5	K (cmol kg ⁻¹)	NH ₄ OAC 1N pH 7
6	P tersedia	Bray 1 dan Olsen
7	Al-dd (cmol kg ⁻¹)	Titrimetri
8	Al monomerik (cmol kg ⁻¹)	PCV

3.4.7 Analisis dan Interpretasi Data

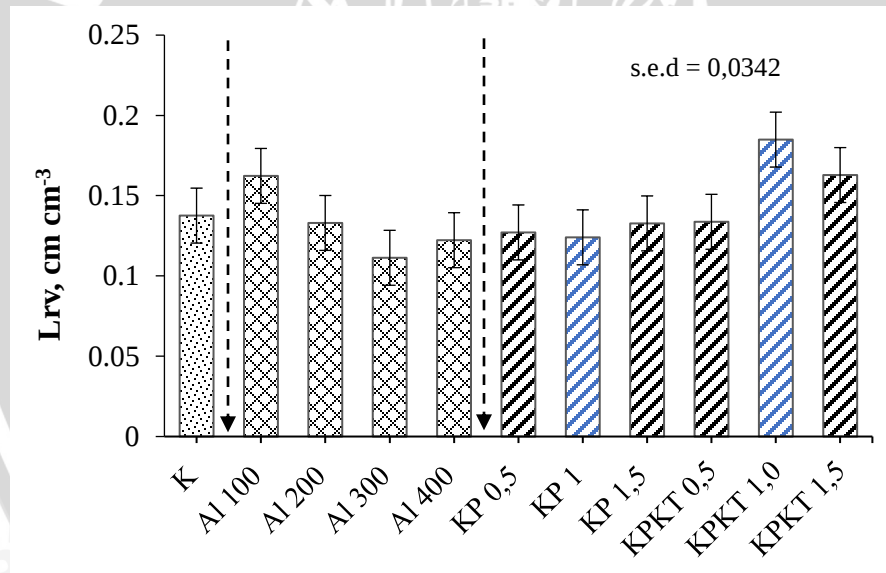
Data-data hasil percobaan yang diperoleh selanjutnya dianalisis keragamannya (ANOVA) menggunakan program Genstat 15 edition. Bila data yang diperoleh berbeda nyata antar perlakuan, dilanjutkan dengan Duncan Multiple Range Test (DMRT) tingkat kepercayaan 5% untuk menguji perbedaan antar perlakuan. Apabila tidak berbeda nyata, maka dibandingkan antar perlakuan menggunakan uji pemisahan nilai tengah (orthogonal kontras) dengan tingkat kepercayaan 5%. Untuk mengetahui hubungan dan tingkat keeratan antara Al-dd dengan Lrv dan Al monomerik dengan Lrv dilakukan uji korelasi dan uji regresi.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Respon Akar terhadap Penambahan Aluminium dan Amelioran pada Pot Tunggal

4.1.1 Total panjang akar (Lrv)

Konsentrasi Al yang tinggi dalam larutan tanah umumnya menghambat percabangan akar tanaman. Berdasarkan uji ANOVA yang dilakukan terhadap total panjang akar (Lrv) kelapa sawit dengan tingkat kepercayaan 5% (0,05) menunjukkan bahwa penambahan Al dan Amelioran terhadap tanah bawah tidak berbeda nyata ($p > 0,05$) terhadap Lrv bibit sawit. Nampaknya, kelapa sawit cukup toleran terhadap Al. Marschner (1995) mengemukakan bahwa pada konsentrasi yang cukup untuk tanaman, unsur Al memiliki peran dalam merangsang pertumbuhan tanaman. Rata-rata Lrv bibit sawit dari keseluruhan perlakuan adalah $0,14 \text{ cm cm}^{-3}$ (Gambar 8).



Keterangan: K = Kontrol; Al 100 = dosis 100 μM Al, Al 200 = dosis 200 μM Al, Al 300 = dosis 300 μM Al, Al 400 = dosis 400 μM Al; KP 0,5 = Kaptan 0,5 kali dosis, KP 1 = Kaptan 1 kali dosis, KP 1,5 = Kaptan 01,5 kali dosis; KPKT 0,5 = campuran Kaptan 0,5 kali dosis & Kompos Tankos, KPKT 1,0 = campuran Kaptan 1 kali dosis & Kompos Tankos, KPKT 1,5 = campuran Kaptan 1,5 kali dosis & Kompos Tankos.

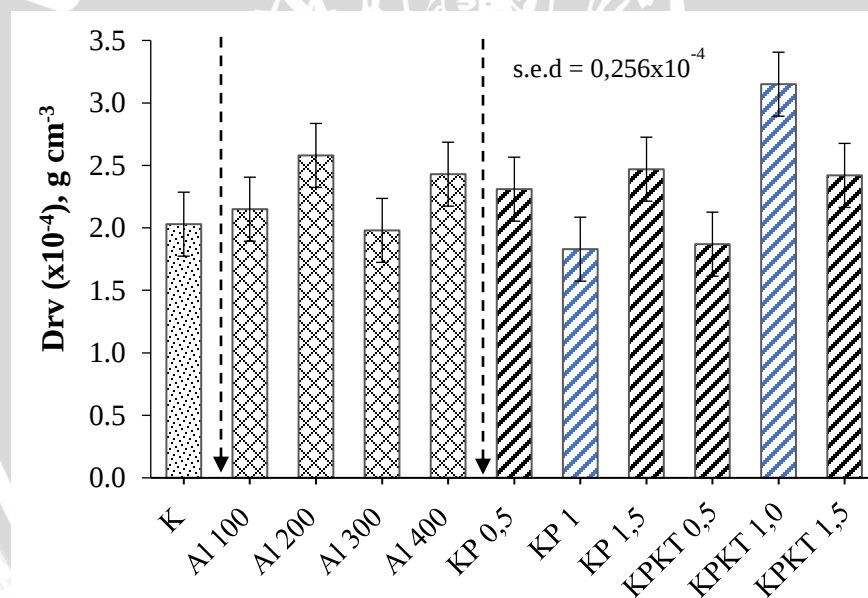
Gambar 8. Total panjang akar (Lrv) seluruh perlakuan.

Berdasarkan hasil uji orthogonal kontras diketahui bahwa upaya perbaikan kondisi akar sawit dengan menambahkan campuran Kapur Pertanian 1 kali dosis lapang dan Kompos Tankos (KPKT 1,0) cenderung ($0,10 > p > 0,05$) meningkatkan Lrv sebesar 49% jika dibandingkan dengan perlakuan

penambahan Kapur Pertanian 1 kali dosis (KP 1). Sedangkan peningkatan penambahan campuran Kapur Pertanian >1 kali dosis lapang dan Kompos Tankos (KPKT 1,5) tidak lagi dapat meningkatkan Lrv. Sehingga pemberian kapur lebih dari dosis lapang ($>0,68 \text{ Mg ha}^{-1}$) kurang menguntungkan. Menurut Sugiyono, *et al.* (2005), pemupukan pada tanaman kelapa sawit membutuhkan biaya yang sangat besar sekitar 30% terhadap biaya produksi atau sekitar 60% terhadap biaya pemeliharaan.

4.1.2 Berat Kering Akar (Drv)

Pemberian Al ke dalam tanah menghambat pertumbuhan akar, namun setelah dilakukan uji ANOVA taraf 5% menunjukkan pemberian Al dan Amelioran tidak berpengaruh nyata ($p>0,05$) terhadap berat kering akar (Drv) bibit kelapa sawit. Rata-rata Drv bibit kelapa sawit seluruh perlakuan adalah $2,3 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ (Gambar 9).



Keterangan: K = Kontrol; Al 100 = dosis 100 μM Al, Al 200 = dosis 200 μM Al, Al 300 = dosis 300 μM Al, Al 400 = dosis 400 μM Al; KP 0,5 = Kaptan 0,5 kali dosis, KP 1 = Kaptan 1 kali dosis, KP 1,5 = Kaptan 01,5 kali dosis; KPKT 0,5 = campuran Kaptan 0,5 kali dosis & Kompos Tankos, KPKT 1,0 = campuran Kaptan 1 kali dosis & Kompos Tankos, KPKT 1,5 = campuran Kaptan 1,5 kali dosis & Kompos Tankos.

Gambar 9. Berat kering akar (Drv) seluruh perlakuan.

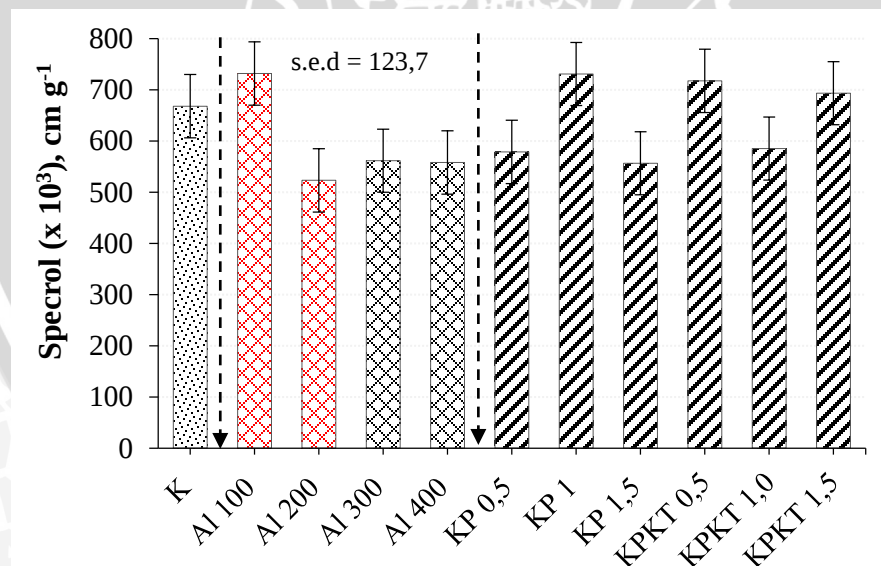
Berdasarkan hasil uji orthogonal kontras diketahui bahwa upaya perbaikan kondisi akar sawit dengan menambahkan campuran Kapur Pertanian 1 kali dosis lapang dan Kompos Tankos (KPKT 1,0) meningkatkan Drv secara nyata

($p < 0,05$) sebesar 72% jika dibandingkan dengan perlakuan penambahan Kapur Pertanian 1 kali dosis lapang (KP 1). Sedangkan peningkatan penambahan campuran Kapur Pertanian >1 kali dosis lapang dan Kompos Tankos (KPKT 1,5) tidak lagi meningkatkan Drv.

Pemberian Tankos berpengaruh nyata terhadap perkembangan akar (Lim *et al.*, 2002), jumlah akar terbanyak terdapat di bawah tumpukan Tankos atau pelepah dimana konsentrasi bahan organik hasil pelapukan dan aktivitas mikroorganisme tinggi (Thomas dan Rolf, 2003).

4.1.3 Nisbah Lrv/Drv (*Specrol*)

Perhitungan nisbah Lrv/Drv atau *Specrol* (*Specific Root Density*) dilakukan untuk menggambarkan secara tidak langsung karakteristik tanaman dalam ukuran (diameter) akar dengan satuan cm g^{-1} . Semakin tinggi nilai *Specrol* menunjukkan semakin kecil diameter akar, artinya akar semakin halus. Sama halnya dengan Lrv dan Drv, setelah dilakukan uji ANOVA taraf 5% pemberian Al dan Amelioran tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$), rata-rata nilai *Specrol* seluruh perlakuan adalah $627,8 \text{ cm g}^{-1}$ (Gambar 10).



Keterangan: K = Kontrol; Al 100 = dosis 100 μM Al, Al 200 = dosis 200 μM Al, Al 300 = dosis 300 μM Al, Al 400 = dosis 400 μM Al; KP 0,5 = Kaptan 0,5 kali dosis, KP 1 = Kaptan 1 kali dosis, KP 1,5 = Kaptan 01,5 kali dosis; KPKT 0,5 = campuran Kaptan 0,5 kali dosis & Kompos Tankos, KPKT 1,0 = campuran Kaptan 1 kali dosis & Kompos Tankos, KPKT 1,5 = campuran Kaptan 1,5 kali dosis & Kompos Tankos.

Gambar 10. Nisbah Lrv/Drv (*Specrol*) seluruh perlakuan

Berdasarkan hasil uji orthogonal kontras, perlakuan pemberian Al cenderung ($0,10 > p > 0,05$) berpengaruh nyata terhadap *Specrol*. Nisbah Lrv/Drv (*Specrol*) pada pemberian dosis Al 100 μM meningkat 40% dibandingkan dengan perlakuan pemberian dosis Al 200 μM , sedangkan pada perlakuan pemberian Al dosis $>100 \mu\text{M}$ nilai *Specrol* menurun rata-rata sebesar 18% jika dibandingkan dengan Kontrol.

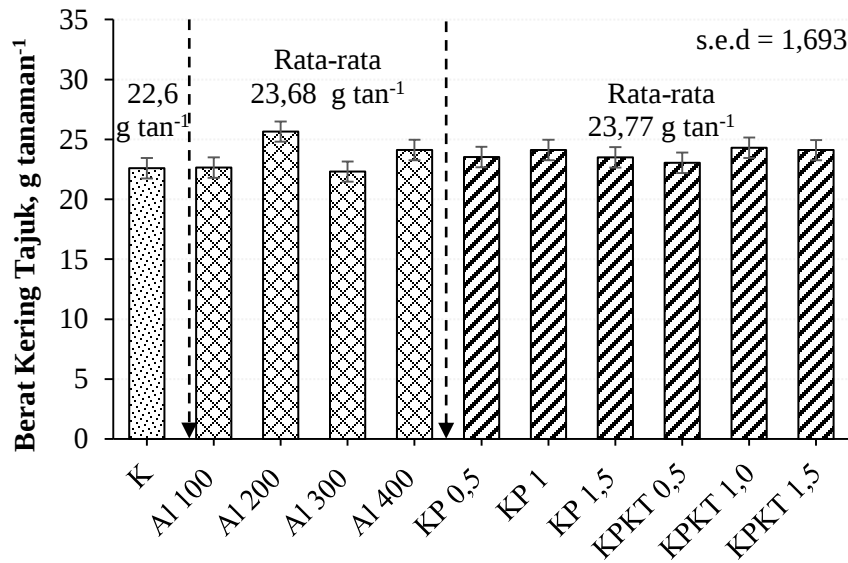
Semakin rendah *Specrol* maka semakin besar diameter akar, sehingga luas permukaan akar menurun dan serapan air dan hara tanaman juga menurun. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian Al menyebabkan penebalan akar akibat adanya pengerasan jaringan akar. Marschner (1995) menyatakan bahwa akumulasi Al yang tinggi pada inti sel tudung akar yang menghambat pertumbuhan akar merupakan akibat dari kerusakan sel tudung akar yang berfungsi sebagai sensor terhadap cekaman lingkungan. Hal ini menyebabkan permukaan akar berwarna coklat kekuningan, berbintik dan mudah patah.

4.2 Hubungan Tajuk dengan Akar Tanaman

4.2.1 Biomasa Tajuk Tanaman

Pemberian Al dan Amelioran tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap biomasa tajuk tanaman kelapa sawit, rerata biomasa bibit kelapa sawit seluruh perlakuan adalah 23,6 g/tanaman atau 0,024 kg ha⁻¹ (Gambar 11). Hal ini dikarenakan jumlah daun bibit kelapa sawit rata-rata sebanyak 6-7 helai per tanaman. Pangaribuan (2001) menyatakan bahwa jumlah daun sudah merupakan sifat genetik dari tanaman kelapa sawit dan juga tergantung pada umur tanaman.

Berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh Cristancho *et al.*, (2011) melaporkan bahwa bibit kelapa sawit yang tumbuh dalam larutan mengandung 200 μM Al selama 80 hari berat kering tajuknya menurun 57,5% bila dibandingkan dengan larutan tanpa Al. Gangguan terhadap pertumbuhan dan kerusakan akar oleh cekaman Al menyebabkan rendahnya kemampuan tanaman dalam menyerap unsur hara dan air, sehingga tanaman mengalami defisiensi hara dan hambatan pertumbuhan (Marschner, 1995).



Keterangan: K = Kontrol; AI 100 = dosis 100 μM AI, AI 200 = dosis 200 μM AI, AI 300 = dosis 300 μM AI, AI 400 = dosis 400 μM AI; KP 0,5 = Kaptan 0,5 kali dosis, KP 1 = Kaptan 1 kali dosis, KP 1,5 = Kaptan 01,5 kali dosis; KPKT 0,5 = campuran Kaptan 0,5 kali dosis & Kompos Tankos, KPKT 1,0 = campuran Kaptan 1 kali dosis & Kompos Tankos, KPKT 1,5 = campuran Kaptan 1,5 kali dosis & Kompos Tankos.

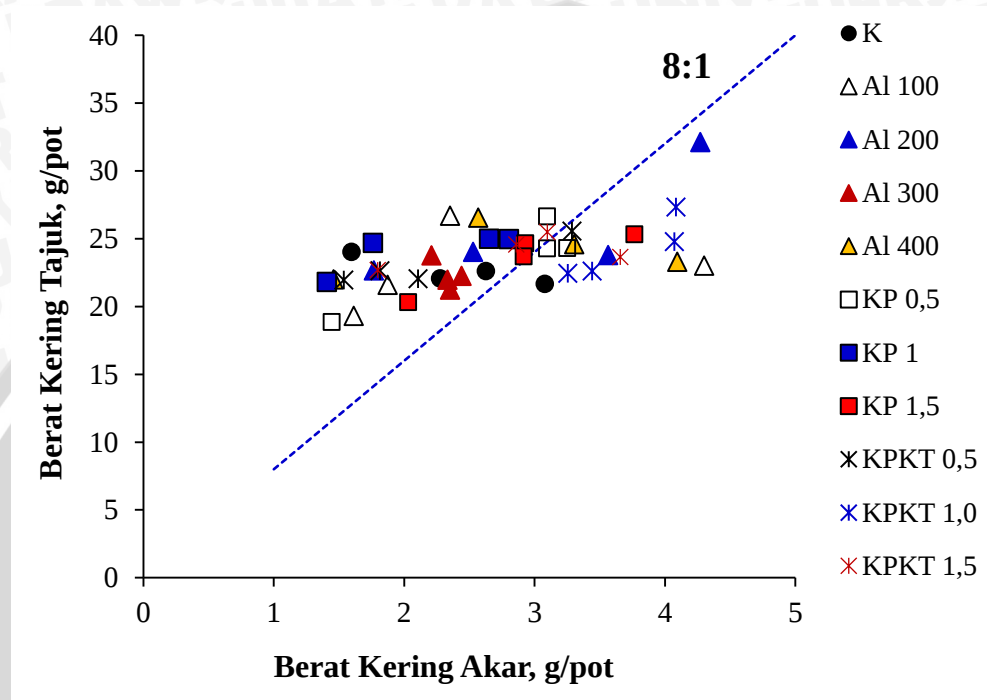
Gambar 11. Rata-rata berat kering tajuk kelapa sawit pada berbagai perlakuan

4.2.3 Nisbah Tajuk:Akar

Akar berfungsi menyerap air dan hara dari dalam tanah untuk memenuhi kebutuhan tajuk. Terjadinya hambatan media pertumbuhan tanaman akan diikuti oleh penurunan nisbah tajuk dan akar (Hairiah *et al.*, 2000). Hubungan tajuk dengan akar tanaman dihitung dengan nisbah berat kering tajuk dan berat kering akar (Drv). Jika hasil perhitungan nisbah tajuk:akar semakin tinggi, maka pertumbuhan tanaman juga semakin baik. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi tanah membaik sehingga dapat mencukupi kebutuhan tanaman akan air dan hara; hal yang sebaliknya akan terjadi pada tanaman yang tumbuh pada tanah miskin hara dan kekeringan atau mengalami keracunan.

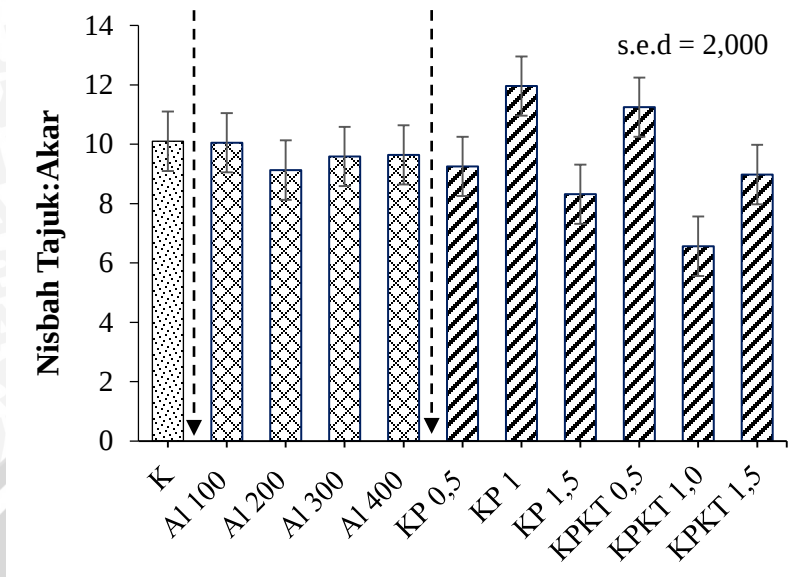
Menurut hasil pengukuran di Kumai oleh Oktovani (2012) bahwa nisbah tajuk dan akar kelapa sawit pada kondisi aktual berkisar antara 7:1 di tanah berklei dan 3:1 di tanah berpasir, sedangkan dari hasil percobaan ini nisbah tajuk:akar rata-rata adalah 10:1 (Gambar 12). Menurut Brouwer (1983), Lambers (1983) dan juga van Noordwijk dan de Willigen (1987) dalam teorinya tentang

“*Functional Equilibrium of shoot:roots*” menyatakan bahwa perbaikan biomasa dan produksi tanaman lebih ditentukan oleh banyaknya serapan air dan hara oleh akar tanaman dari pada oleh peningkatan kerapatan/biomasa/ukuran perakaran tanaman.



Gambar 12. Hubungan berat kering berat kering (BK) akar dengan BK tajuk berbagai perlakuan.

Pemberian Al semua dosis (100 μ M hingga 400 μ M) menunjukkan penurunan nilai nisbah tajuk:akar rata-rata sebesar 5% jika dibandingkan dengan Kontrol dan nilai nisbah tajuk:akar tertinggi pada perlakuan Kapur Pertanian 1 kali dosis lapang (KP 1) meningkat 18% dibandingkan Kontrol (Gambar 13). Penambahan kapur ke dalam tanah dengan dosis yang tepat mampu meningkatkan pH tanah sehingga mampu menurunkan kelarutan beberapa unsur seperti Al, Fe, dan Mn (Tisdale *et al.*, 1985).



Keterangan: K = Kontrol; Al 100 = dosis 100 μM Al, Al 200 = dosis 200 μM Al, Al 300 = dosis 300 μM Al, Al 400 = dosis 400 μM Al; KP 0,5 = Kaptan 0,5 kali dosis, KP 1 = Kaptan 1 kali dosis, KP 1,5 = Kaptan 01,5 kali dosis; KPKT 0,5 = campuran Kaptan 0,5 kali dosis & Kompos Tankos, KPKT 1,0 = campuran Kaptan 1 kali dosis & Kompos Tankos, KPKT 1,5 = campuran Kaptan 1,5 kali dosis & Kompos Tankos.

Gambar 13. Nisbah berat kering tajuk dan berat kering akar seluruh perlakuan.

4.3 Kondisi Tanah

4.3.1 Kondisi Tanah Sebelum Perlakuan

Tanah lapisan bawah (sub-soil) yang digunakan sebagai media percobaan pot tunggal diambil dari Blok OA 29 AMR kedalaman 30 – 60 cm dengan ordo Ultisols dan tekstur loam berklei. Kondisi kimia tanah sebelum aplikasi perlakuan penambahan Al dan Amelioran ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kondisi kimia tanah sebelum perlakuan

Tanah	pH		C	P	Basa-basa dd			Aldd	Al
	H ₂ O	KCl	organik	tersedia	Ca	Mg	K		monomerik
	-		%	mg kg ⁻¹	----- cmol (+) kg ⁻¹ -----				
Sub Soil	4,63	4,04	0,91	5,3	0,09	0,08	0,46	1,11	0,0075

4.3.2 Kondisi Tanah Setelah Perlakuan

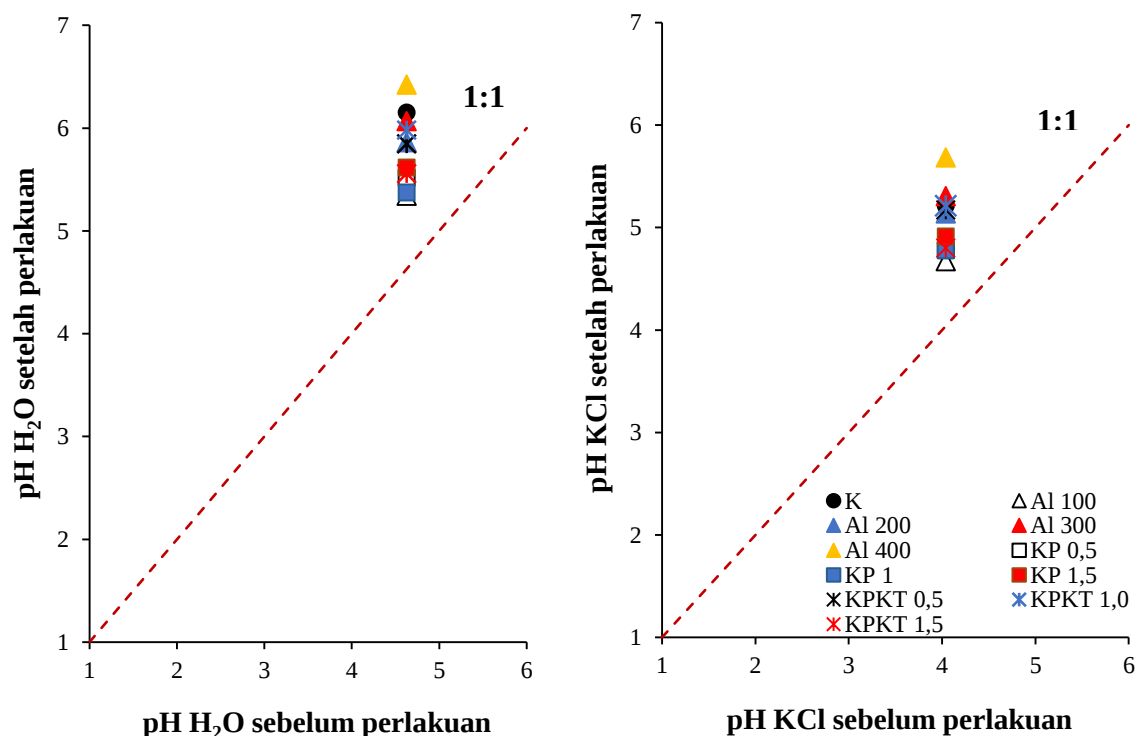
Pemberian Al dan Amelioran tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap pH H₂O, pH KCl, C-organik, Mg, K, Al-dd dan Al-monomerik, sedangkan Ca

cenderung ($0,10 > p > 0,05$) berbeda nyata dan hanya P tersedia yang berbeda nyata ($p < 0,05$). Hasil analisis kimia tanah disajikan pada Lampiran 12.

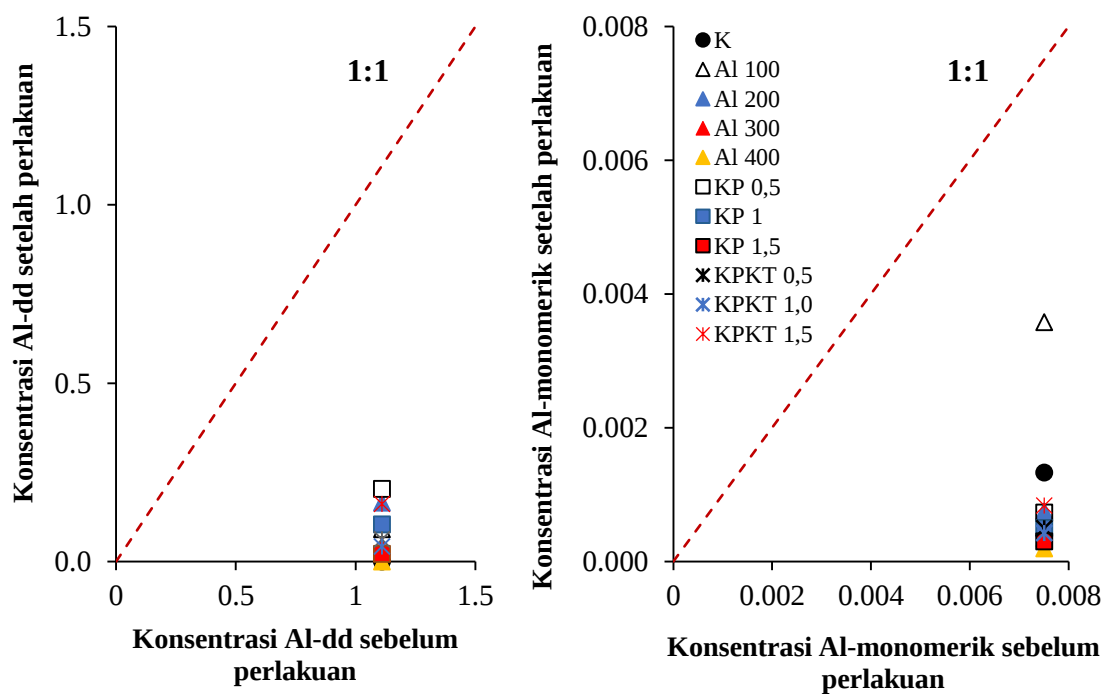
Berdasarkan hasil uji kontras, pemberian Al ($100 \mu\text{M}$ dan $400 \mu\text{M}$) berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap pH dan konsentrasi Al-monomerik dalam tanah. pH tertinggi diperoleh perlakuan penambahan AlCl_3 dosis $400 \mu\text{M}$ dan konsentrasi Al-monomerik tertinggi diperoleh perlakuan penambahan AlCl_3 dosis $100 \mu\text{M}$. Hal ini dapat terjadi karena adanya upaya akar kelapa sawit dalam bertahan (toleran) terhadap cekaman Al. Taylor (1991) menyatakan bahwa kultivar toleran terhadap Al cenderung meningkatkan pH rhizosfer daripada kultivar yang peka.

Peningkatan pH larutan tanah bukanlah satu-satunya tanda yang menunjukkan adanya sifat toleransi terhadap Al. Asam organik dapat mengkelat Al serta mereduksi atau mencegah pengaruh racunnya pada tingkat seluler (Pellet *et al.*, 1995). Felix & Donald (2002) melaporkan bahwa kemampuan pertumbuhan tanaman pada tanah dengan kandungan Al tinggi, adalah dengan menghasilkan eksudat akar (dalam bentuk anion-anion asam organik, gula, vitamin, asam amino, purin, nukleotida, ion-ion anorganik, dan sebagainya). Senyawa-senyawa ini membantu perakaran tanaman terhindar dari akibat buruk ion Al, sehingga akar sebagai fungsi penyerap hara dan air dapat menjalankan fungsinya.

Untuk melihat adanya perubahan pH dan konsentrasi Aluminium dalam tanah dilakukan perbandingan antara sebelum dan setelah aplikasi perlakuan. pH seluruh perlakuan baik pada pH aktual (H_2O) maupun pH potensial (KCl) diketahui meningkat setelah aplikasi dibandingkan dengan sebelum aplikasi perlakuan (Gambar 14). Sedangkan konsentrasi Al-dd dan Al-monomerik diketahui menurun setelah aplikasi perlakuan (Gambar 15). Selain itu, diketahui juga bahwa pH perlakuan Al 400 yang tinggi berbanding terbalik dengan konsentrasi Al-dd maupun Al-monomerik perlakuan Al 400 yang rendah. Kenaikan pH akan menekan kelarutan Al sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Perubahan pH media ini berhubungan dengan perbedaan penyerapan nitrat dan ammonium (Galvez dan Clark, 1991).



Gambar 14. Perbandingan pH sebelum dan setelah aplikasi perlakuan (Rasio 1:1)

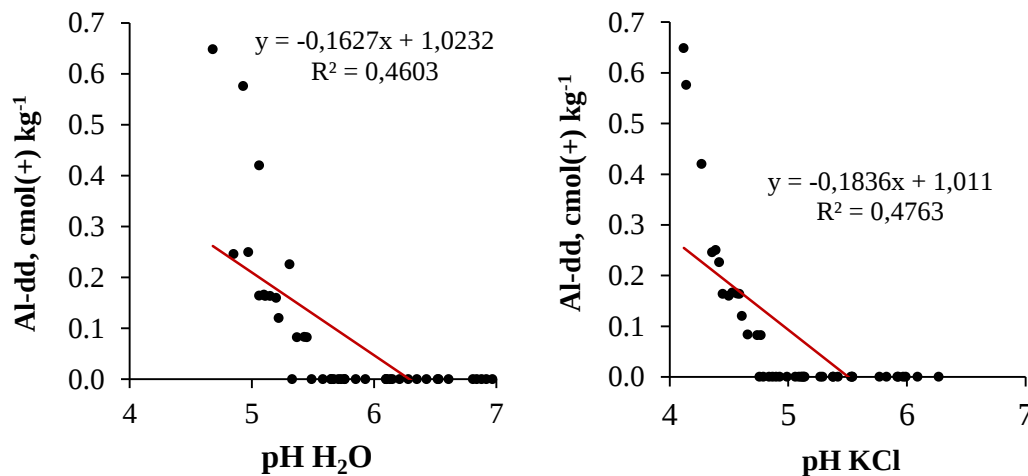


Gambar 15. Konsentrasi Al-dd (kiri) dan Al-monomeric (kanan) sebelum dan setelah aplikasi perlakuan (Rasio 1:1).

Pada tanah masam umumnya ketersediaan hara sangat terbatas, selain itu kemampuan tanaman untuk menyerap hara juga dibatasi oleh kandungan Al yang tinggi terutama pada pH di bawah 5,5. Pada pH <4,0 kelarutan Al sangat tinggi terdapat dalam bentuk Al^{3+} yang sangat beracun bagi tanaman, selain itu juga terdapat bentuk lainnya yaitu, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ dan $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, pada pH >5,5 pengaruh jelek dari Al^{3+} dapat diabaikan (Marschner, 1995; Kochian, 1995). Pada keadaan tersebut proporsi pertukaran kation semakin meningkat dengan dijenuhnya oleh Al, dan menggantikan kation polivalen seperti Ca^{++} dan Mg^{++} , kemudian Al yang bebas akan mengikat P dan Mo (Utama, 2008).

4.4 Hubungan pH Tanah dengan Konsentrasi Aluminium dalam Tanah

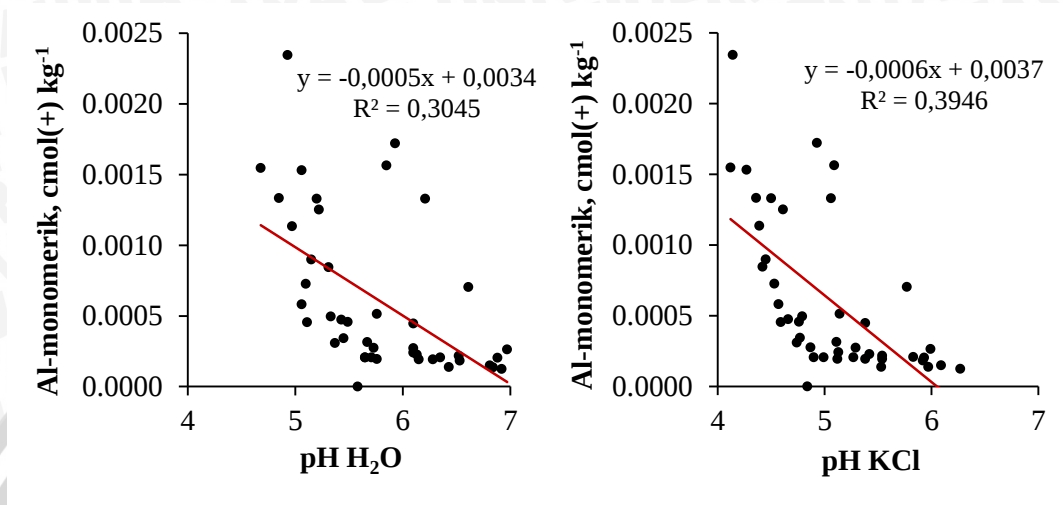
Berdasarkan hasil uji korelasi perubahan konsentrasi Al-dd dalam tanah berkorelasi negatif ($p < 0,001$) yang erat ($r = -0,689$) dengan pH tanah (Gambar 16), terutama dengan pH KCl. Dapat disimpulkan bahwa meningkatnya pH tanah sebesar 1 akan menurunkan konsentrasi Al-dd masing-masing sebesar 0,16 $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ pada pH H_2O dan 0,18 $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ pada pH KCl. Hal ini sesuai dengan pernyataan Salisbury dan Ross (1995) bahwa seiring peningkatan kadar pH tanah, konsentrasi Al-dd semakin menurun.



Gambar 16. Hubungan antara pH aktual dengan Al-dd (kiri) dan pH potensial dengan Al-dd (kanan).

Hasil yang sama juga diperoleh pada hubungan pH dengan konsentrasi Al-monomerik menunjukkan korelasi negatif ($p > 0,05$) yang tidak erat pada pH KCl

($r=-0,265$). Peningkatan pH tanah sebesar 1 akan menurunkan konsentrasi Al-monomerik sebesar 5×10^{-4} cmol(+) kg^{-1} pada pH H₂O dan 6×10^{-4} cmol(+) kg^{-1} pada pH KCl (Gambar 17).



Gambar 17. Hubungan antara pH aktual dengan Al-monomerik (kiri) dan pH potensial dengan Al-monomerik (kanan).

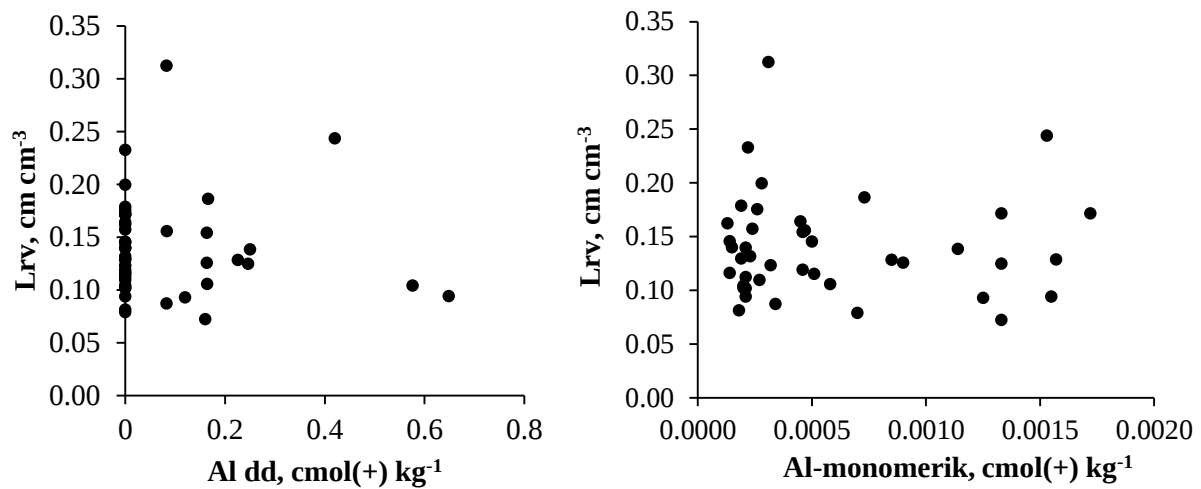
Menurut Rout *et al.* (2001) Al terdapat pada semua jenis tanah, namun Al yang bersifat meracun hanya ada didalam tanah yang memiliki pH rendah, yang mana bentuk meracun tanaman (fitotoksik) paling banyak adalah Al^{3+} .

4.5 Hubungan Konsentrasi Aluminium dengan Total Panjang Akar

Pada tanah masam, penghambat utama pertumbuhan akar adalah tingginya konsentrasi Al di lapisan bawah (Hairiah *et al.*, 2000), terutama Al inorganik monomerik yang dapat meracuni pertumbuhan akar tanaman (Hairiah *et al.*, 1992). Hubungan antara total panjang akar (Lrv) dengan konsentrasi Al-dd berkorelasi negatif lemah ($r=-0,048$). Begitu pula dengan hubungan antara Al-monomerik dengan total panjang akar (Lrv) berkorelasi lemah ($r=0,082$), namun masih menunjukkan bahwa terjadi penurunan total panjang akar seiring dengan meningkatnya konsentrasi Al-monomerik di dalam tanah hingga mendekati konsentrasi $0,002$ cmol(+) kg^{-1} atau setara $20 \mu\text{M}$ Al (Gambar 18).

Cristancho *et al.*, (2011) melaporkan bahwa bibit kelapa sawit yang tumbuh dalam larutan mengandung $200 \mu\text{M}$ Al selama 80 hari pertumbuhan akar sawit menurun sekitar 46,5% dibandingkan dengan larutan tanpa Al. Menurut

Anas dan Yoshida (2000) salah satu gejala keracunan Al adalah akar tidak dapat berkembang, tidak dapat bercabang dengan normal, dan akar mudah patah.



Gambar 18. Hubungan konsentrasi Aluminium dengan total panjang akar (Lrv)

Menurut Kochian *et al.* (2004), apabila pH media tanam berada di bawah 5, maka Al^{3+} akan larut di dalam larutan media tanam dan menyebabkan keracunan bagi perakaran. Pada tanah masam konsentrasi Al cukup tinggi ($\text{pH} < 4,7$) yang dapat menghambat pertumbuhan beberapa spesies. Menurut Foy dan Fleming (1982) penambahan Al^{3+} pada tanaman sensitif dapat menyebabkan penurunan pH yang sangat tajam dibandingkan pada tanaman yang toleran.

Beberapa kriteria tanaman yang toleran adalah (1) akar sanggup tumbuh terus dan ujung akar tidak rusak, (2) dapat mengubah pH di daerah perakaran, dan (3) mempunyai mekanisme tertentu di mana Al tidak sanggup menghambat serapan Ca, Mg, dan K sehingga tanaman dapat tetap memenuhi kebutuhan unsur haranya. Peningkatan pH di daerah perakaran (rhizosfer) merupakan salah satu mekanisme akar untuk menghindari dari toksisitas Al (Purnamaningsih dan Mariska, 2008).

V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Akar kelapa sawit cukup toleran terhadap Al, karena penambahan Al hingga $400 \mu\text{M}$ ke dalam tanah lapisan bawah tidak menghambat pertumbuhan akar; rata-rata total panjang akar bibit kelapa sawit (L_{rv}) = $0,14 \text{ cm cm}^{-3}$ dan berat kering akar (D_{rv}) = $2,3 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$. Penghambatan pertumbuhan akar sawit di lapisan bawah di Kumai bukan disebabkan oleh Al.
2. Pengaruh penambahan bahan ameliorant Kapur Pertanian menjadi lebih kuat dalam meningkatkan pertumbuhan perakaran bibit sawit, bila dikombinasikan dengan penambahan Kompos Tankos.
 - a. Perbaikan perakaran kelapa sawit dengan penambahan Amelioran berupa campuran Kapur Pertanian dengan dosis sama dengan dosis pemberian di lapangan ($1 \times \text{dosis} = 0,68 \text{ ton ha}^{-1}$) dan Kompos Tankos cenderung meningkatkan pertumbuhan akar (L_{rv}) sebesar 49% jika dibandingkan dengan penambahan Kapur Pertanian $1 \times \text{dosis}$ tanpa kompos (rerata L_{rv} $0,14 \text{ cm cm}^{-3}$).
 - b. Penambahan campuran Kaptan ($1 \times \text{dosis}$) + Kompos meningkatkan berat kering akar (D_{rv}) sebesar 72% jika dibandingkan dengan perlakuan penambahan Kapur ($1 \times \text{dosis}$) tanpa kompos. Sedangkan peningkatan pemberian campuran Kapur Pertanian >1 kali dosis lapang dan Kompos Tankos tidak lagi dapat meningkatkan L_{rv} dan D_{rv} .
 - c. Nisbah berat kering tajuk:akar dari percobaan ini rata-rata 10:1.
3. Penurunan total panjang akar (L_{rv}) bibit sawit berhubungan lemah dengan konsentrasi Al-monomerik ($r=0,082$), walaupun masih ada kecenderungan penurunan total panjang akar seiring dengan meningkatnya konsentrasi Al-monomerik di dalam tanah.

5.2 Saran

Pertumbuhan akar sawit yang terhambat di lapisan bawah bukan disebabkan oleh Al, tetapi mungkin dibatasi oleh kepadatan tanah atau kondisi jenuh air, namun demikian penelitian lebih lanjut masih perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. dan Subiksa, I.G.M. 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF). Bogor.
- Anas and T. Yoshida. 2000. Screening of Al-tolerant sorghum by hematoxylin staining and growth response. Plant Prod. Sci. 3: 246-253
- Blamey, F.P.C., D.G. Edwards and C.J. Asher. 1983. Effect of aluminium, OH:Al and P:Al ratios and ionic and ionic strength on soybean root elongation in solution culture. Soil. Sci. 136: 197-207.
- Brouwer, R. 1983. Functional equilibrium: sense or nonsense? Neth. J. Agric. Sci. 31: 335-348
- Cristancho, R.J., M.M. Hanafi, S.R. Omar, M.Y. Rafii. 2011. Variation in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) progeny response to high aluminium concentrations in solution culture.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2015. Luas Areal, Produksi dan Produktivitas Perkebunan di Indonesia (online) <http://www.pertanian.go.id/Indikator/tabel-3-prod-lsareal-prodvitas-bun.pdf>. Diakses 22 Juni 2015.
- Felix, D.D. and A.P. Donald. 2002. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environment. Plant and Soil. 245: 35-47.
- Farida, Nurul. 2015. Detoksifikasi Aluminium Monomerik Melalui Penambahan Amelioran di Perkebunan Sawit. Skripsi S-1. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Fauzi, Y., Y. E. Widyastuti, I. Satyawibawa, R. Hartono. 2008. Kelapa Sawit: Budidaya, Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisis Usaha dan Pemasaran. Edisi revisi. Penebar Swadaya. Jakarta. 163 hal.
- Firmansyah, M. A. 2010. Respon Tanaman terhadap Aluminium. Staf Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Tengah. Agripura Vol. 6 No. 2 Desember 2010.
- Fitter, A.H. dan R.K.M. Hay. 1991. Fisiologi Lingkungan Tanaman. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta. 421 hal.
- Foy, C.D. 1988. Plant adaptation to acid, aluminium toxic soils. Comun.Soil Sci. Plant Annu. Rev. Plant Physiol. 29: 511-566.

- Foy, C.D. dan A.L. Flemming. 1982. Aluminum tolerances of two wheat genotypes related to nitrate reductase activities. *Journal of Plant Nutrition*. 5: 1313-1333
- Galvez, L. and R.B. Clark. 1991. Nitrate and Ammonium uptake and solution pH changes for Al-tolerant and Al-sensitive sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes grown with and without aluminium. *Plant-soil interaction at low pH*. p. 805-814.
- Gottlein, A., A. Heim, E. Matzer. 1999. Mobilization of Aluminium in the Rhizosphere Soil Solution of Growing Tree Roots in an Acidic Soil. *Plant and Soil*. 211: 41-49.
- Greendland, D.J. dan P. J. Dart. 1972. Biological and organic aspect of plant nutrition in relation to needed research in tropical soils. *Tropical Soils Research Seminar*. International Institute of Agriculture, Ibadan, Nigeria.
- Hairiah, K. 1992. Aluminium tolerance of Mucuna. A tropical leguminous cover crop. Doctoral thesis, RUG, Netherland. p. 152. ISBN 90 - 9005501-0.
- Hairiah, K, Widiyanto, S.R. Utami, D. Suprayogo, Sunaryo, S.M. Sitompul, B. Lusiana, R. Mulia, M. van Noordwijk dan G. Cadish. 2000. *Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi: Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara*. ICRAF. 311 hal.
- Hairiah, K., D. Suprayogo, Widiyanto. 2014. *Penggemburan Tanah Lapisan Bawah Secara Biologi: Pemanfaatan Residu Sawit, Penanaman LCC, dan Rumpuk untuk Menstimulasi Pertumbuhan Akar Sawit*. Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.
- Jourdan, C., M. Nicole, P. Gerald. 2000. Root System Architecture and Gravitropism in the Oil Palm. *Annals of botany*, 85: 861-868
- Kasim, N. 2000. Eksudasi dan akumulasi asam organik pada beberapa kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.) genotipe tolerant Al. Thesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Kochian, L.V. 1995. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annu.Rev. Plant physiol. Plant Mol. Biol.* 46: 237-260.
- Kochian, L.V., O.A. Hoekenga, M.A. Pineros. 2004. How do crop plant tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and Phosphorous efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55: 459-493.
- Lambers, H. 1983. The Functional equilibrium nibbling on the edges of a paradigm. *Neth. J. Agric.Sci.* 31: 305-311.
- Lim, K.C., Z.A. Rahman. 2002. *The Effects Oil Palm Empty Fruit Bunches On Oil Palm Nutrition and Yield, and Soil Chemical*.

- Ma, J.F. 2000. Role of organic acids in detoxification of aluminum in higher plants. *Plant Cell Physiol.* 41: 383-390.
- Mario, M.D. 2002. Peningkatan Produktivitas dan Stabilitas Tanah Gambut dengan Pemberian Tanah Mineral yang Diperkaya oleh Bahan Berkadar Besi Tinggi. Disertasi Program Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second edition. Acad Press. p. 889.
- Najiyati. 2003. *Mengenal Perilaku Lahan Gambut*. Seri Pengelolaan Hutan dan Lahan Gambut. Bogor.
- Nurwinda, Y.D. 2015. *Diagnosis Penghambat Pertumbuhan Akar Kelapa Sawit pada Lapisan Bawah Ultisol*. Skripsi S-1. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Oktovani, D.C. 2012. *Studi Perakaran Kelapa Sawit di Berbagai Zona Tumpukan Bahan Organik Pada Tanah Lom Berklei (Clay loam) dan Lom Berpasir (Sandy loam)*. Skripsi S-1. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Pahan, I. 2008. *Manajemen Agribisnis dari Hulu ke Hilir*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Pangaribuan, Y. 2001. *Studi Karakter Morfofisiologi Tanaman Kelapa Sawit di Pembibitan terhadap Cekaman Kekeringan*. Tesis. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Pellet, D.M., D.L. Grunes, and L.V. Kochian. 1995. Organic acid exudation as an aluminium-tolerance mechanism in maize (*Zea mays* L.). *Planta* 196: 788-795.
- Permata, V. D. 2015. *Respon Lokal Akar Kelapa Sawit Terhadap Berbagai Amelioran pada Kondisi Semi Terkontrol: Prediksi Serapan N dan Produksi Kelapa Sawit pada Tanah Masam Menggunakan Model WaNuLCAS*. Skripsi S-1. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Pietraszewska, T. 2001. Effect of aluminium on plant growth and metabolism. *Acta Biochim. Pol.* 48: 673-686.
- Prasetyo, B. H. dan D.A. Suriadikarta. 2006. Karakteristik, Potensi, dan Teknologi Pengelolaan Tanah Ultisol untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian* 25(2). Bogor.
- Purnamaningsih, R. dan I. Mariska. 2008. Pengujian Nomor-nomor Harapan Padi Tahan Al dan pH Rendah Hasil Seleksi in vitro dengan Kultur Hara. *Jurnal Agro Biogen* 4. 1: 18-23.

- Rout, G., S. Samantaray, P. Das. Aluminium toxicity in plants: a review. *Agronomie, EDP Sciences*, 2001, 21. 1: 3-21.
- Salisbury, F.B dan C.W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid 3*. ITB-Press. Bandung.
- Sarwono, E. 2008. Pemanfaatan Janjang kosong sebagai substitusi pupuk tanaman kelapa sawit. *Jurnal Aplika Volume 8*.
- Soepardi, G. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. Departemen Ilmu-Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sopandie, D. 1999. Differential Al tolerance of soybean genotypes related to nitrate metabolism and organic acid exudation. *Comm. Ag.* 5: 13-20.
- Sugiyono, E. S., W. Sutarta, Darmosarkoro dan H. Santoso. 2005. Peranan Perimbangan K, Ca dan Mg Tanah dalam Rekomendasi Pemupukkan Kelapa Sawit. *Pertemuan Teknis Kelapa Sawit PPKS 19-20 April 2005*. Medan.
- Sukarji, R. dan E.L. Tobing. 1982. *Jenis Pupuk pada Tanaman Kelapa Sawit*. Pusat Penelitian Marihat. Pematang Siantar. Medan. 10 hal.
- Sunarko. 2007. *Petunjuk Praktis Budidaya dan Pengolahan Kelapa Sawit*. PT. Agromedia Pustaka. Jakarta. 70 hal.
- Suntoro. 2001. Pengaruh Residu Penggunaan Bahan Organik, Dolomit dan KCl pada Tanaman Kacang Tanah (*Arachis hypogaeae* L.) pada Oxic Dystrudept di Jumapolo, Karanganyar. *Habitat*, 12. 3: 170-177.
- Taylor, G.J. 1991. Current views of the aluminum stress response; The physiological basis of tolerance. *Current topics in plant biochemistry and physiology*, 10: 57-93.
- Thomas, F. dan H. Rolf. 2003. *Oil Palm Management for Large and Sustainable Yields*. International Plant Nutrient Institute. Southeast Asia Program. Singapore.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson., and J.D. Beaton. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*. Mc. Millan, New York. p. 754.
- Utama, M.Z.H. 2008. Mekanisme Fisiologi Toleransi Cekaman Aluminium Spesies Legum Penutup Tanah terhadap Metabolisme Nitrat (NO_3^-), Amonium (NH_4^+), dan Nitrit (NO_2^-).
- van Noordwijk, M. dan P. de Willigen. 1987. Agricultural Concepts of roots: from morphogenetic to fuctional equilibrium between root and shoot growth. *Netherland Journal of Agricultural Science* 35: 487-496.

van Noordwijk, M., L. Albert, P. Sylvain, E. Christof, A. Glyn, C. Siebe and van de Geijn. 2000. Root Methods a handbook. Springer: Verlag Berlin Heidelberg New York. p. 113-140.

Yurikha, D. 2009. Perbandingan Efektivitas Pupuk Majemuk Lambat Tersedia dan Pupuk Konvensional pada Pembibitan Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). Fakultas Pertanian IPB. Bogor.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisa Ragam Total Panjang Akar (Lrv)

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Ulangan	3	0,005348	0,001783	0,76	
Perlakuan	10	0,018949	0,001895	0,81	0,621
Al 100 vs Al 300	1	0,005201	0,005201	2,22	0,146
KPKT 1,0 vs KP 0,5	1	0,006689	0,006689	2,86	0,101
Galat	30	0,070175	0,002339		
Total	43	0,094471			

Keterangan: Tingkat kepercayaan 5%. F $pr < 0,05$ = berbeda nyata, $0,10 < F pr > 0,05$ = cenderung berbeda nyata, F $pr > 0,10$ = tidak berbeda nyata

Lampiran 2. Analisa Ragam Berat Kering Akar (Drv)

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Ulangan	3	$3,79 \times 10^{-9}$	$1,26 \times 10^{-9}$	0,24	
Perlakuan	10	$5,91 \times 10^{-8}$	$5,91 \times 10^{-9}$	1,13	0,376
Al 200 vs Al 300	1	$7,08 \times 10^{-9}$	$7,08 \times 10^{-9}$	1,35	0,254
KPKT 1,0 vs KP 1	1	$3,50 \times 10^{-8}$	$3,50 \times 10^{-8}$	6,68	0,015
Galat	30	$1,57 \times 10^{-7}$	$5,24 \times 10^{-9}$		
Total	43	$2,20 \times 10^{-7}$			

Keterangan: Tingkat kepercayaan 5%. F $pr < 0,05$ = berbeda nyata, $0,10 < F pr > 0,05$ = cenderung berbeda nyata, F $pr > 0,10$ = tidak berbeda nyata

Lampiran 3. Analisa Ragam Nisbah Lrv/Drv (Specrol)

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Ulangan	3	14349	4783	0,16	
Perlakuan	10	259737	25974	0,85	0,588
Al 100 vs Al 200	1	87072	87072	2,84	0,102
KP 1 vs KP 1,5	1	60863	60863	1,99	0,169
Galat	30	918764	30625		
Total	43	1192850			

Keterangan: Tingkat kepercayaan 5%. F $pr < 0,05$ = berbeda nyata, $0,10 < F pr > 0,05$ = cenderung berbeda nyata, F $pr > 0,10$ = tidak berbeda nyata

Lampiran 4. Rata-rata dan Notasi Lrv, Drv, Specrol

Perlakuan	Lrv (cm cm ⁻³)	Drv (g cm ⁻³)	Specrol (cm g ⁻¹)
Kontrol (K)	0,1376 a	0,000203 ab	668 a
Al 100	0,1623 a	0,000215 ab	732 a
Al 200	0,133 a	0,000258 ab	523,3 a
Al 300	0,1113 a	0,000198 ab	561,6 a
Al 400	0,1223 a	0,000243 ab	558,1 a
KP 0,5	0,1271 a	0,000231 ab	578,8 a
KP 1	0,124 a	0,000183 a	731 a
KP 1,5	0,1327 a	0,000247 ab	556,6 a
KPKT 0,5	0,1337 a	0,000186 a	717,6 a
KPKT 1,0	0,1849 a	0,000315 b	585,3 a
KPKT 1,5	0,1629 a	0,000242 ab	693,5 a

Lampiran 5. Analisa Ragam pH H₂O

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Ulangan	3	0,9408	0,3136	0,82	
Perlakuan	10	4,7441	0,4744	1,24	0,305
Al 400 vs Al 100	1	2,3328	2,3328	6,12	0,019
Al 400 vs K	1	0,1485	0,1485	0,39	0,537
KPKT 1,0 vs KP 1	1	0,7381	0,7381	1,94	0,174
K vs KP 1	1	1,209	1,209	3,17	0,085
Galat	30	11,4417	0,3814		
Total	43	17,1266			

Keterangan: Tingkat kepercayaan 5%. F pr<0,05 = berbeda nyata, 0,10<F pr>0,05 = cenderung berbeda nyata, F pr>0,10 = tidak berbeda nyata

Lampiran 6. Analisa Ragam pH KCl

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Ulangan	3	0,4252	0,1417	0,43	
Perlakuan	10	3,5201	0,352	1,06	0,422
Al 400 vs Al 100	1	2,0503	2,0503	6,17	0,019
KPKT 1,0 vs KP 0,5	1	0,3741	0,3741	1,13	0,297
Galat	30	9,9691	0,3323		
Total	43	13,9144			

Keterangan: Tingkat kepercayaan 5%. F pr<0,05 = berbeda nyata, 0,10<F pr>0,05 = cenderung berbeda nyata, F pr>0,10 = tidak berbeda nyata

Lampiran 7. Analisa Ragam Al-dd

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Ulangan	3	0,06854	0,02285	0,95	
Perlakuan	10	0,19689	0,01969	0,82	0,611
Al 200 vs Al 400	1	0,05419	0,05419	2,26	0,143
Al 200 vs K	1	0,05419	0,05419	2,26	0,143
Galat	30	0,71911	0,02397		
Total	43	0,98454			

Keterangan: Tingkat kepercayaan 5%. F pr<0,05 = berbeda nyata, 0,10<F pr>0,05 = cenderung berbeda nyata, F pr>0,10 = tidak berbeda nyata

Lampiran 8. Analisa Ragam Al-monomerik

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Ulangan	3	3,52x10 ⁻⁶	1,17x10 ⁻⁶	0,4	
Perlakuan	10	3,65x10 ⁻⁵	3,65x10 ⁻⁶	1,26	0,297
Al 100 vs Al 400	1	2,30x10 ⁻⁵	2,30x10 ⁻⁵	7,91	0,009
K vs Al 400	1	2,59x10 ⁻⁶	2,59x10 ⁻⁶	0,89	0,352
Galat	30	8,70x10 ⁻⁵	2,90x10 ⁻⁶		
Total	43	1,27x10 ⁻⁴			

Keterangan: Tingkat kepercayaan 5%. F pr<0,05 = berbeda nyata, 0,10<F pr>0,05 = cenderung berbeda nyata, F pr>0,10 = tidak berbeda nyata

Lampiran 9. Perhitungan Pembuatan Larutan Al

$$M = \frac{g}{Mr} \times \frac{1000}{V}$$

$$1 \text{ M} = 1.000.000 \text{ } \mu\text{M}$$

$$1 \text{ } \mu\text{M} = \frac{g}{Mr} \times \frac{1000}{V} \times \frac{1}{10^{-6}}$$

Mr (massa molekul relatif) $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 241,43$

1. 100 μM (volume 40 liter)

$$100 \text{ } \mu\text{M} = \frac{g}{241,43} \times \frac{1000}{40.000} \times \frac{1}{10^{-6}}$$

$$100 \text{ } \mu\text{M} = \frac{g}{241,43} \times 40 \times 10^{-6}$$

$$g = 241,43 \times 40 \times (10^{-6} \times 100)$$

$$g = 241,43 \times 40 \times 10^{-4}$$

Massa = 0,9657 g $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ untuk 40 liter

2. 200 μM (volume 40 liter)

$$200 \text{ } \mu\text{M} = \frac{g}{241,43} \times \frac{1000}{40.000} \times \frac{1}{10^{-6}}$$

$$200 \text{ } \mu\text{M} = \frac{g}{241,43} \times 40 \times 10^{-6}$$

$$g = 241,43 \times 40 \times (10^{-6} \times 200)$$

Massa = 1,9314 g $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ untuk 40 liter

3. 300 μM (volume 30 liter)

$$300 \text{ } \mu\text{M} = \frac{g}{241,43} \times \frac{1000}{40.000} \times \frac{1}{10^{-6}}$$

$$300 \text{ } \mu\text{M} = \frac{g}{241,43} \times 40 \times 10^{-6}$$

$$g = 241,43 \times 30 \times (10^{-6} \times 300)$$

Massa = 2,1729 g $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ untuk 30 liter

4. 400 μM (volume 40 liter)

$$400 \text{ } \mu\text{M} = \frac{g}{241,43} \times \frac{1000}{40.000} \times \frac{1}{10^{-6}}$$

$$400 \text{ } \mu\text{M} = \frac{g}{241,43} \times 40 \times 10^{-6}$$

$$g = 241,43 \times 40 \times (10^{-6} \times 400)$$

Massa = 3,8629 g $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ untuk 40 liter

Lampiran 10. Skema Pot Percobaan Setelah Diacak

Ulangan 1: Ulangan 2: Ulangan 3: Ulangan 4:

KPKT 0,5	KP 1	AI 200	AI 100
AI 200	KPKT 1	KP 1,5	KP 0,5
KP 1	AI 400	KPKT 0,5	K
AI 400	KPKT 1,5	KP 0,5	KP 1
K	AI 300	AI 100	KPKT 1
KPKT 1	KP 1,5	KPKT 1,5	AI 300
KPKT 1,5	AI 100	K	KP 1,5
AI 300	KP 0,5	KP 1	KPKT 0,5
KP 1,5	KPKT 0,5	AI 400	AI 200
AI 100	K	KPKT 1	AI 400
KP 0,5	AI 200	AI 300	KPKT 1,5

U

S

Lampiran 11. Perhitungan Kebutuhan Kapur dan Kompos:

1. Kebutuhan Kapur Pertanian

$$\begin{aligned}
 \text{Dosis kapur pertanian} &= 5000 \text{ g/pokok setara } 0,68 \text{ Mg/ha} \\
 \text{Luas area per hektar} &= 10000 \text{ m}^2 \text{ terdapat } 136 \text{ pokok} \\
 \text{Luas tanah per pokok} &= \text{Luas } 1 \text{ hektar}/136 = 73,5 \text{ m}^2 \\
 \text{Kedalaman efektif tanah} &= 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m} \\
 \text{Berat Isi tanah (BI)} &= 1,2 \text{ g cm}^{-3} \\
 \text{Volume tanah per pokok} &= \text{Luas } 1 \text{ pokok} \times \text{Lapisan Olah Tanah} \\
 &= 73,5 \text{ m}^2 \times 0,3 \text{ m} \\
 &= 22,05 \text{ m}^3 = 22.050.000 \text{ cm}^3 \\
 \text{Massa tanah 1 pokok} &= \text{Volume } 1 \text{ pokok} \times \text{Berat Isi (BI)} \\
 &= 22.050.000 \text{ cm}^3 \times 1,2 \text{ g cm}^{-3} \\
 &= 26.460.000 \text{ g} \\
 \text{Diameter Polybag} &= 25 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi Polybag} &= 20 \text{ cm} \\
 \text{Volume Polybag} &= \pi \times r^2 \times t \\
 &= 3,14 \times (12,5 \text{ cm})^2 \times 20 \text{ cm} \\
 &= 9812,5 \text{ cm}^3 \\
 \text{Massa tanah polybag} &= \text{Volume polybag} \times \text{BI} \\
 &= 9812,5 \text{ cm}^3 \times 1,2 \text{ g cm}^{-3} \\
 &= 11.775 \text{ g} \\
 \frac{\text{Dosis Lapang}}{\text{Berat tanah 1 pokok}} &= \frac{\text{Dosis Polybag (x)}}{\text{Berat tanah polybag}} \\
 \frac{5000 \text{ g/pokok}}{26.460.000 \text{ g}} &= \frac{x}{11.775 \text{ g}} \\
 x &= \frac{5000 \text{ g} \times 11.775 \text{ g}}{26.460.000 \text{ g}}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kebutuhan Kapur 1 kali dosis per polybag} = 2,225 \text{ g}$$

$$\text{Kebutuhan Kapur } \frac{1}{2} \text{ kali dosis per polybag} = 1,113 \text{ g}$$

$$\text{Kebutuhan Kapur 1,5 kali dosis per polybag} = 3,337 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Kebutuhan Kaptan} &= (1,113 + 2,225 + 3,337) \text{ g} \times 2 \text{ perlakuan} \times 4 \\ &\quad \text{ulangan} = 53,4 \text{ g} \end{aligned}$$

2. Kebutuhan Kompos Tankos

Dosis kompos	= 15 Mg ha ⁻¹ setara 15.000.000 g ha ⁻¹
Luas area per hektar	= 10000 m ² terdapat 136 pokok
Dosis kompos per pokok	= 15.000.000 g / 136 = 110.294 g
Luas tanah per pokok	= Luas 1 hektar/136 = 73,5 m ²
Kedalaman efektif tanah	= 30 cm = 0,3 m
Berat Isi tanah (BI)	= 1,2 g cm ⁻³
Volume tanah per pokok	= Luas 1 pokok x Lapisan Olah Tanah
	= 73,5 m ² x 0,3 m
	= 22,05 m ³ = 22.050.000 cm ³
Massa tanah 1 pokok	= Volume 1 pokok x Berat Isi (BI)
	= 22.050.000 cm ³ x 1,2 g cm ⁻³
	= 26.460.000 g
Diameter Polybag	= 25 cm
Tinggi Polybag	= 20 cm
Volume Polybag	= $\pi \times r^2 \times t$
	= 3,14 x (12,5 cm) ² x 20 cm
	= 9812,5 cm ³
Massa tanah polybag	= Volume polybag x BI
	= 9812,5 cm ³ x 1,2 g cm ⁻³
	= 11.775 g
<u>Dosis Lapang</u>	= <u>Dosis Polybag (x)</u>
Berat tanah 1 pokok	Berat tanah polybag
$\frac{110.294 \text{ g/pokok}}{26.460.000 \text{ g}}$	= $\frac{x}{11.775 \text{ g}}$
x	= $\frac{110.294 \text{ g} \times 11.775 \text{ g}}{26.460.000 \text{ g}}$

Kebutuhan Kompos per polybag = **49,08 g**

Total Kebutuhan Kompos = 49,08 g x 3 perlakuan x 4 ulangan = 588,96 g

Lampiran 12. Kondisi kimia tanah setelah perlakuan

Perlakuan	pH		C organik %	P tersedia mg kg ⁻¹	Basa-basa dd			Al-dd	Al monomerik
	H ₂ O	KCl			Ca	Mg	K		
	(aktual)	(potensial)			cmol(+) kg ⁻¹				
K (kontrol)	6,15 ^{ab}	5,21 ^b	0,80 ^b	90,58 ^{ab}	0,39 ^c	2,26 ^b	1,44 ^{ab}	0,000 ^a	0,00133 ^{ab}
Al 100	5,34 ^a	4,67 ^{ab}	0,76 ^{ab}	29,93 ^a	0,20 ^a	1,22 ^{ab}	1,23 ^{ab}	0,091 ^a	0,00358 ^b
Al 200	5,86 ^{ab}	5,14 ^{ab}	0,75 ^{ab}	98,07 ^{ab}	0,23 ^{ab}	1,74 ^{ab}	1,26 ^{ab}	0,165 ^a	0,00075 ^a
Al 300	6,07 ^{ab}	5,31 ^{ab}	0,72 ^{ab}	143,30 ^b	0,23 ^{abc}	1,89 ^{ab}	1,45 ^{ab}	0,041 ^a	0,00035 ^a
Al 400	6,42 ^b	5,69 ^{ab}	0,72 ^{ab}	146,69 ^b	0,32 ^{abc}	2,17 ^{ab}	1,33 ^{ab}	0,000 ^a	0,00019 ^a
KP 0,5	5,52 ^{ab}	4,78 ^{ab}	0,76 ^{ab}	60,21 ^a	0,24 ^{abc}	1,28 ^{ab}	1,24 ^{ab}	0,203 ^a	0,00073 ^a
KP 1	5,37 ^a	4,84 ^a	0,70 ^a	72,47 ^{ab}	0,37 ^{bc}	1,73 ^{ab}	1,67 ^b	0,103 ^a	0,00050 ^a
KP 1,5	5,62 ^{ab}	4,92 ^a	0,68 ^a	60,92 ^a	0,31 ^{abc}	1,38 ^{ab}	1,35 ^{ab}	0,021 ^a	0,00030 ^a
KPKT 0,5	5,85 ^{ab}	5,17 ^a	0,71 ^a	82,69 ^{ab}	0,33 ^{abc}	1,62 ^{ab}	1,36 ^{ab}	0,061 ^a	0,00050 ^a
KPKT 1,0	5,98 ^{ab}	5,21 ^{ab}	0,72 ^{ab}	84,08 ^{ab}	0,35 ^{abc}	1,69 ^{ab}	1,47 ^{ab}	0,042 ^a	0,00043 ^a
KPKT 1,5	5,56 ^{ab}	4,80 ^{ab}	0,77 ^{ab}	43,98 ^a	0,25 ^{abc}	1,05 ^a	1,15 ^a	0,161 ^a	0,00083 ^a

Lampiran 13. Persen Pertumbuhan Vegetatif Kelapa Sawit

Tinggi Tanaman (%)					Panjang Daun (%)				
Perlakuan	MST				Perlakuan	MST			
	2	4	6	8		2	4	6	8
K	-2,6	0,2	0,5	0,6	K	-4,1	-3,2	-1,0	-1,2
Al 100	1,2	2,8	2,8	1,1	Al 100	-0,8	-1,2	1,3	-1,4
Al 200	1,6	4,2	4,4	3,7	Al 200	0,6	2,8	2,0	0,8
Al 300	1,7	3,2	3,7	3,0	Al 300	2,5	3,0	3,8	1,4
Al 400	-2,7	-1,6	-0,4	-0,7	Al 400	-5,6	-1,1	-1,1	-1,4
KP 0,5	0,4	3,9	3,5	3,4	KP 0,5	-3,0	-0,3	1,0	0,3
KP 1	2,5	5,3	5,8	6,8	KP 1	-3,9	5,5	6,5	6,6
KP 1,5	0,6	1,3	2,7	3,4	KP 1,5	-2,2	-0,5	1,5	2,5
KPKT 0,5	2,4	2,6	4,4	5,4	KPKT 0,5	2,7	6,8	6,3	4,3
KPKT 1,0	-4,8	-3,5	-1,9	-1,8	KPKT 1,0	0,9	2,2	3,8	4,2
KPKT 1,5	2,9	6,2	6,7	7,0	KPKT 1,5	3,0	7,1	8,8	10,4

Diameter Tanaman (%)					Jumlah Daun (%)				
Perlakuan	MST				Perlakuan	MST			
	2	4	6	8		2	4	6	8
K	5,03	17,04	28,31	35,98	K	-15	-15	-10	14
Al 100	6,35	24,71	33,10	40,29	Al 100	-35	-23	-1	8
Al 200	9,37	17,79	31,44	36,82	Al 200	-22	-34	3	13
Al 300	0,98	18,92	29,13	36,16	Al 300	-28	-15	4	17
Al 400	4,24	13,49	25,49	31,59	Al 400	-29	-29	-4	10
KP 0,5	0,83	21,00	33,28	38,37	KP 0,5	-47	-21	4	15
KP 1	6,72	19,27	31,03	42,60	KP 1	-35	-20	4	13
KP 1,5	13,72	21,17	31,58	39,87	KP 1,5	-30	-23	4	10
KPKT 0,5	8,43	19,35	32,43	37,62	KPKT 0,5	-34	-14	0	7
KPKT 1,0	0,15	15,08	32,82	38,99	KPKT 1,0	-28	-10	10	13
KPKT 1,5	2,89	8,81	22,46	36,26	KPKT 1,5	-35	-10	4	17

Lampiran 14. Hasil Analisis Kimia Kapur Pertanian dan Kompos

1. Hasil Analisis Kapur Pertanian (Kaptan)

Jenis Pupuk	Parameter	Unit	SNI	Hasil Analisis (contoh kering 105°C)	Metode
				KPA.01/03 Pupuk Kaptan	
Kapur Pertanian	Air*	% b/b	maks. 5	20,50	SNI 01-4704-1995
	MgO	% b/b	-	0,01	
	CaO	% b/b	-	50,86	
	CaO + MgO	% b/b	min. 47	50,87	

* Hasil atas dasar bahan awal (adba)

2. Hasil Analisis Kompos Tankos PT. SINP

Permentan No. 28/Permentan/OT. 140/2/2009	pH	Bahan Organik			Kadar Total				
	Ekstrak 1:4	Walkley & Black	Kjedahl	C/N	Ekstrak HNO ₃ -HClO ₄				
	H ₂ O	C- organik	N		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe- total
Satuan					----- % -----				
Granul/Pelet Murni	4-8	≥ 12	< 6	15-25	< 6	< 6			min 0, maks 8000
Remah/Curah Murni	4-8	≥ 12	< 6	15-25	< 6	< 6			min 0, maks 8000
Kompos SINP	7,91	47,85	1,19	40	0,20	1,84	0,42	0,24	502,46

Lampiran 15. Dokumentasi Penelitian



Kondisi Percobaan Pot Tunggal



Panen Bibit Kelapa Sawit



Pencucian akar kelapa sawit



Penghitungan sub-sampel akar



Penimbangan biomassa bibit kelapa sawit



Analisis di Laboratorium Kimia

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

