

**HAMBATAN PERTUMBUHAN AKAR KELAPA SAWIT OLEH
ALUMINIUM DI LAPISAN TANAH BAWAH: Perbaikan Pertumbuhan
Akar dengan Menambahkan Campuran Kapur dan Kompos dalam
Percobaan Pot Terbelah**

Oleh:

EKA PURNAMASARI

**MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**



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

“HAMBATAN PERTUMBUHAN AKAR KELAPA SAWIT OLEH ALUMINIUM DI LAPISAN TANAH BAWAH. Perbaikan Pertumbuhan Akar dengan Menambahkan Campuran Kapur dan Kompos dalam Percobaan Pot Terbelah”

Oleh:

EKA PURNAMASARI

125040201111140

**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

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan komisi pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Agustus 2016

Eka Purnamasari



LEMBAR PERSETUJUAN

Judul penelitian : **Hambatan Pertumbuhan Akar Kelapa Sawit oleh Aluminium di Lapisan Tanah Bawah. Perbaikan Pertumbuhan Akar dengan Menambahkan Campuran Kapur dan Kompos dalam Percobaan Pot Terbelah**

Nama Mahasiswa : **Eka Purnamasari**

NIM : 125040201111140

Jurusan : Tanah

Program Studi : Agroekoteknologi

Laboratorium : Biologi Tanah

Menyetujui :

Disetujui,
Pembimbing Utama, Pembimbing Kedua,

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

Ir. Widiyanto, M.Sc.
NIP. 195302121979031004

Diketahui,
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

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

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

Penguji III

Penguji IV

Ir. Widiyanto, M.Sc.
NIP. 195302121979031004

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

Tanggal Lulus:





Skripsi ini kupersembahkan untuk:
“Kedua orang tua tercinta yang sangat luar biasa;
Ibu Supatmi dan Bapak Ridwan, SE.
Serta Adik-adikku; Aisyah S.D., A. K.Nizam, dan Adiba K.N.
Tersayang”

Sahabat-sahabatku ‘Nik-Nik Gengs’ , Ayu R. F. , Erlina E. P.

RINGKASAN

EKA PURNAMASARI. 125040201111140. **Hambatan Pertumbuhan Akar Kelapa Sawit oleh Aluminium di Lapisan Tanah Bawah. Perbaikan Pertumbuhan Akar dengan Menambahkan Campuran Kapur dan Kompos dalam Percobaan Pot Terbelah.** Dibimbing oleh: Kurniatun Hairiah dan Widiyanto

Pertumbuhan akar kelapa sawit di tanah masam umumnya terhambat oleh keracunan Al. Uji keracunan Al akar tanaman dalam percobaan pot umumnya dilakukan dalam kondisi homogen, sedangkan kondisi di lapangan kondisi tanah heterogen yang memungkinkan takar tanaman untuk memilih kondisi yang menguntungkan. Oleh karena itu, hasil percobaan pot tunggal dengan media homogen sering kali bertentangan dengan kondisi di lapangan.

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 (ameliorant) yaitu campuran kapur pertanian (kaptan) dan kompos berdasarkan pada percobaan pot terbelah. Penelitian ini dilaksanakan di lahan percobaan bibit *Research Center* PT. Astra Agro Lestari mulai Januari hingga Mei 2016. Dalam percobaan ini terdapat 8 perlakuan yaitu kontrol, kontrol+top-soil, penambahan AlCl_3 (100, 200, dan $400\mu\text{M}$) dan campuran kaptan dan kompos (0,5, 1,0, dan 1,5 kali dosis lapangan) yang diaplikasikan ke tanah bawah dengan eksperimen pot terbelah dengan 4 kali ulangan.

Berdasarkan uji pot terbelah diketahui bahwa total panjang akar (Lrv) bibit kelapa sawit tumbuh baik pada subpot (+) $100\mu\text{M}$ Al dan $200\mu\text{M}$ Al, tetapi dengan meningkatnya dosis penambahan Al hingga $400\mu\text{M}$, maka akar kelapa sawit cenderung ($0,05 < p < 0,10$) menghindari tanah yang diberi Al. Namun demikian, tanah yang ditambah amelioran, pertumbuhan akar terbaik terdapat pada subpot (+) campuran kaptan 1,5x dosis + kompos. Selain Lrv dilakukan pula pengukuran berat kering akar (Drv), nilai Drv rata-rata seluruh perlakuan adalah $111 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-3}$. Berdasarkan uji orthogonal kontras terhadap nilai nisbah Drv sub-pot(+):sub-pot(0) antar perlakuan, hasilnya menunjukkan bahwa pemberian Al dan pemberian Kaptan cenderung berpengaruh nyata ($0,05 < p < 0,10$) terhadap Drv. Pemberian Al hingga $200\mu\text{M}$ mampu meningkatkan berat kering akar, namun pada dosis $400\mu\text{M}$ berat kering akar lebih kecil dibandingkan dengan kontrol. Sedangkan pada perlakuan amelioran mampu meningkatkan berat kering akar.

Nisbah berat kering (BK) tajuk:akar bibit sawit berkisar antara 7:1 hingga 10:1, kecuali pada tanah dengan penambahan $200\mu\text{M}$ Al dan dalam tanah dengan penambahan campuran Kaptan 1,5x dosis+kompos, diperoleh nisbah tajuk:akar yang lebih tinggi yaitu 15:1.

Hasil uji korelasi antara Lrv dengan konsentrasi Al-monomerik menunjukkan hasil yang lemah, hal ini berarti bahwa akar kelapa sawit masih mampu bertahan pada konsentrasi Al-monomerik yang cukup tinggi dengan konsentrasi sekitar 0,008 sampai $0,010 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ atau setara dengan $80\mu\text{M}$ sampai $100\mu\text{M}$. 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, penelitian lebih lanjut masih perlu dilakukan.

SUMMARY

EKA PURNAMASARI. 125040201111140. **Inhibition of Oil Palm Root Growth by a high concentration of Aluminum in Sub-Soil. Improvement of Root Growth by applying a mixture of Lime and Compost based on Split-pot Experiment.** Supervised by Kurniatun Hairiah and Widiyanto.

Root growth of Oil palm in acid soils generally inhibited by Al toxicity. Al toxicity test on plants roots system in the pot experiment generally conducted under homogeneous conditions, while conditions in the field of heterogeneous soil conditions which allows roots of plants to choose a more favorable conditions. Therefore, results of research based on single pot experiment in a homogeneous media are often contrary to the conditions in the field.

The purpose of this study was to evaluate roots damage of oil palm by the presence of Al toxicity, and to improve oil palm root growth by adding a mixture of lime (kapur pertanian=Kaptan) and compost based on a split-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. Treatments of this experiment were arranged in randomized block design, with 4 replications. Eight treatments tested were: control-1 (sub soil both sites), control-2 (sub+top soil), applying 3 levels of Al (100, 200, and 400 μ M) and applying 3 levels of ameliorant (0.5, 1.0, and 1.5x actual doses of Kaptan).

Based on the split-pot test showed that the total root length (LRV) of oil palm seedlings grow well in subpot (+) of Al 100 μ M and 200 μ M Al, but with increasing dose of Al to 400 μ M, then the roots of oil palm tend ($0.05 < p < 0.10$) to avoid soil+Al. However, soil coupled with ameliorant a mixture kaptan 1.5xdose + compost, resulted highest LRV average 0.0859 cm cm⁻³.

Application of Al and an ameliorant was not significant ($p > 0.05$) different on root dry weight (Drv), average of 111×10^{-6} g cm⁻³. Further test using orthogonal contrasts on data of Drv ratio from sub-pot (+) : sub-pot (0) between treatments, showed that applying Al + Kaptan tends increased Drv significantly ($0.05 < p < 0.10$). Applying Al up to 200 μ M increased root dry weight, but with a higher level up to 400 μ M decreased root dry weight compared to controls; with the addition of ameliorant improved root dry weight.

Ratio of shoot: root of oil palm seedling ranged from 7:1 to 10:1, except on the soil with the addition of 200 μ M Al and in the soil with the addition of a mixture of lime 1.5x dose + compost, the shoot:root ratio was 15:1. The correlation between the LRV and the concentration of Al-monomeric was weak, this means that roots of oil palm is tolerance to a high concentrations of Al-monomeric of about 80 μ M to 100 μ M. The conclusion from this experiment that the roots of oil palm is 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

Pertumbuhan akar kelapa sawit terhambat pada lapisan bawah diduga karena adanya keracunan Aluminium. Oleh karena itu, rangkaian penelitian ini dilakukan untuk mencari sumber masalah dan jalan keluar dari adanya hambatan pertumbuhan akar kelapa sawit dan bertujuan untuk memperoleh hasil produksi kelapa sawit yang berkelanjutan.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang dengan rahmat dan hidayah-Nya telah menuntun penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Hambatan Pertumbuhan Akar Kelapa Sawit oleh Aluminium di Lapisan Tanah Bawah. Perbaikan Pertumbuhan Akar dengan Menambahkan Campuran Kapur dan Kompos dalam Percobaan Pot Terbelah”.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT. Astra Agro Lestari, Tbk. yang telah mempercayakan kepada kami untuk melakukan penelitian di wilayah perkebunan kelapa sawit anak perusahaan PT. Gunung Sejahtera Ibu Pertiwi-Agro Menara Rachmat, Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Wahyu Suprpto, S.Si. yang telah membantu dalam ketersediaan alat dan bahan selama penelitian hingga pembagian tenaga kerja untuk membantu mempercepat dalam proses pemanenan bibit percobaan. Kepada Bapak M. Bagus Zusni, SP. dan Ibu Hukmaeni, SP. yang senantiasa memantau, memberikan saran dan masukan selama proses penelitian, dan membantu memecahkan masalah ketika terjadi kendala dalam proses penelitian di lapangan. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak M. Yusuf Hermawan selaku Kepala Laboratorium Analisis Kimia Research Center PT. Astra Agro Lestari, Tbk. yang telah bersedia untuk mendahulukan analisis laboratorium contoh tanah dan tajuk hasil percobaan penelitian UB dibalik banyaknya target contoh tanah dan tajuk yang lebih dulu telah diregistrasi.

Bapak Herman Wahyudi dan Bapak M. Ali Puji Irawan selaku Mandor Agronomi Research Center PT. Astra Agro Lestari yang telah bersedia memberikan dan membagikan tenaga karyawan Agronomi untuk mempercepat proses penelitian, serta telah memberikan kami banyak pengalaman selama 9 bulan berada di lingkungan kerja Research Center PT. Astra Agro Lestari, Tbk. (PT. AAL).

Terima kasih yang sangat luar biasa penulis sampaikan kepada Ibu Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan ide penelitian, senantiasa memberikan nasihat dan semangat hingga penelitian ini terselesaikan, bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan masukan dan perbaikan baik pada saat penelitian hingga rangkaian kegiatan tugas akhir terselesaikan.

Kepada Bapak Ir. Widiyanto, M.Sc. dan Bapak 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. Tak lupa penulis sampaikan kepada Bapak Chairul Anshari, SP. yang tetap menjadi ketua suku selama kami melakukan penelitian walaupun sudah berstatus sebagai Staff Riset PT. AAL dan telah membantu banyak dalam proses pengolahan data hasil percobaan, serta terima kasih telah berbagi “kebahagiaan” kepada kami. Kepada Ibu Rika Ratna Sari, SP., M.Sc., dan Ibu Iva Dewi Lestariningsih, SP., M.Agr.Sc., yang telah memberikan bantuan dan saran selama proses penelitian hingga terselesaikannya penyusunan tugas akhir.

Juga kepada teman-teman tim Sawiturnus Bodrex'04 Eva, Maria, Radit, dan Zuli yang senantiasa berbagi suka dan duka selama penelitian. Tanpa kalian, penelitian ini tak akan berakhir dengan menyenangkan. Teman-teman MSDL'12 khususnya C. Nisa', Muhammad Ihsan, Epifanias, Hana H, dan Elda K. Teman Agroekoteknologi'12; Ayu R.F., dan Erlina E.P. dan yang lain-lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu atas bantuan, dukungan, dan kebersamaan selama ini.

Penghargaan yang tertulis penulis berikan kepada kedua orang tua tercinta; Ibu Supatmi dan Bapak Ridwan, SE. dan adik-adik; Aisyah S.D., A. K.Nizam, dan Adiba K.N. atas doa, cinta, kasih sayang, pengertian, dan dukungan baik moral maupun material yang diberikan kepada penulis.

Penulis berharap semoga kelak hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan memberikan sumbangan pemikiran dalam kemajuan ilmu pengetahuan.

Malang, Agustus 2016

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Lampung Tengah, 8 Juli 1995 sebagai putri pertama dari empat bersaudara dari Bapak Ridwan dan Ibu Supatmi.

Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Grogol 1, Cilegon pada tahun 2000 sampai 2006, kemudian penulis melanjutkan ke SMPN 1 Waway Karya, Lampung Timur pada tahun 2006 dan selesai pada tahun 2009. Tahun 2009 sampai 2012 penulis melanjutkan studi ke SMAN 1 Waway Karya, Lampung Timur dengan mengambil jurusan IPA. Pada tahun 2012 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata-1 Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya melalui jalur undangan SNMPTN dan resmi menjadi mahasiswa Jurusan Tanah pada semester enam.

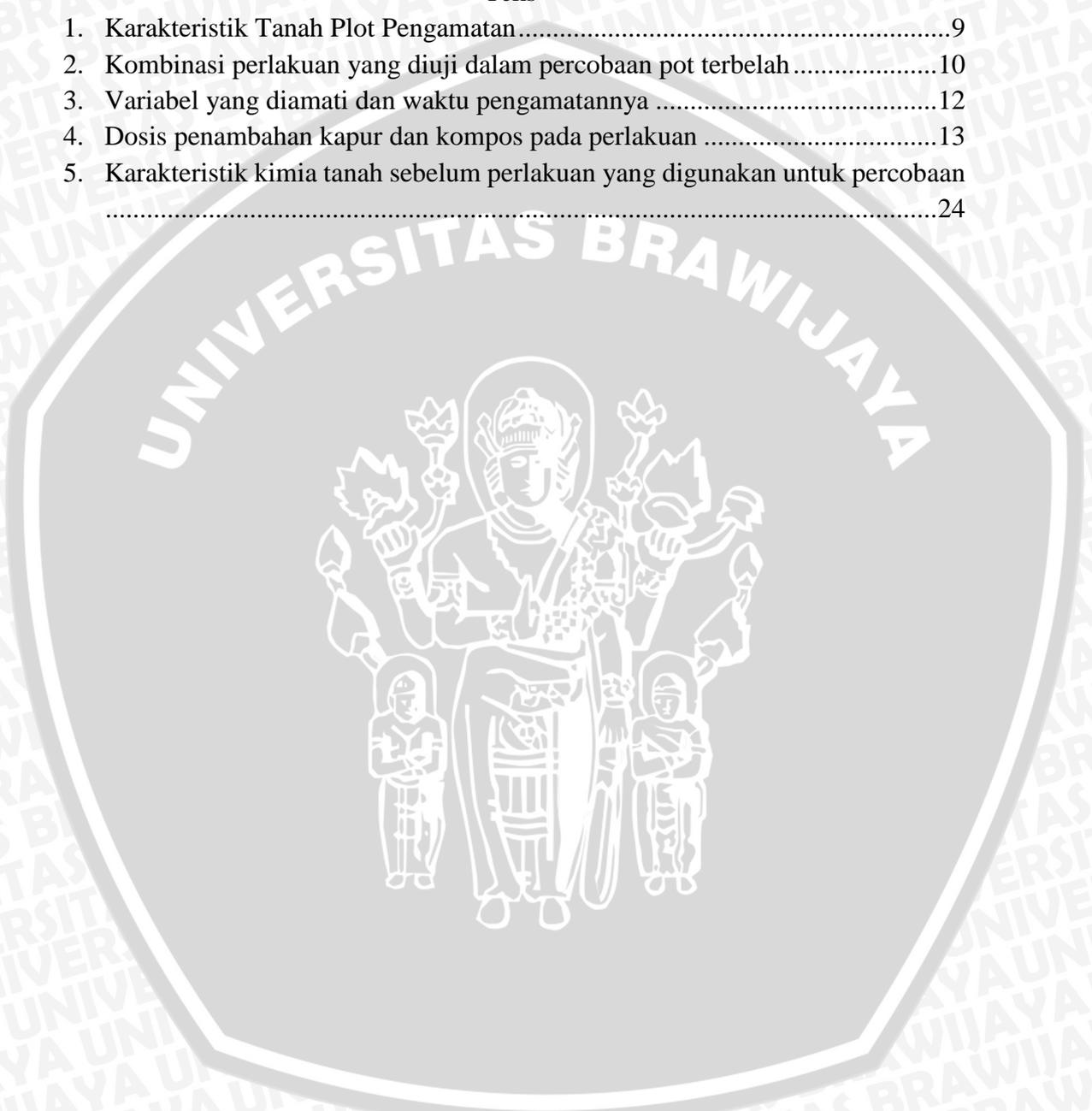
Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Mata Kuliah Dasar Ilmu Tanah pada tahun 2013 dan 2014, Survei Tanah dan Evaluasi Lahan pada tahun 2014 dan 2015. Penulis pernah aktif dalam kepanitiaan KALDERA (Kegiatan Evaluasi Lahan dan Pengabdian Masyarakat) pada tahun 2014 dan Pasca-GATRAKSI (Galang Mitra dan Kenal Profesi) pada tahun 2015.

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	4
1.3 Manfaat	4
1.4 Rumusan Masalah.....	4
1.5 Hipotesis	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Akar Kelapa Sawit	6
2.2 Keracunan Aluminium pada Tanaman	7
2.3 Manajemen Keracunan Aluminium.....	8
III. METODE PENELITIAN.....	10
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	10
3.2 Kondisi Umum Lokasi Penelitian.....	10
3.3 Alat dan Bahan.....	11
3.4 Metode Pelaksanaan.....	12
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Respon Lokal Akar Terhadap Berbagai Penambahan Dosis Aluminium dan Amelioran pada Kondisi Semi Terkontrol.....	19
4.2 Hubungan Tajuk dengan Akar Kelapa Sawit.....	22
4.3 Kondisi Tanah Sebelum dan Sesudah Perlakuan.....	26
4.4 Hubungan pH Tanah dengan Konsentrasi Aluminium didalam Tanah ..	30
4.5 Hubungan Aluminium dengan Total Panjang Akar (Lrv).....	31
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	33
5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN.....	37

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Karakteristik Tanah Plot Pengamatan.....	9
2.	Kombinasi perlakuan yang diuji dalam percobaan pot terbelah.....	10
3.	Variabel yang diamati dan waktu pengamatannya	12
4.	Dosis penambahan kapur dan kompos pada perlakuan	13
5.	Karakteristik kimia tanah sebelum perlakuan yang digunakan untuk percobaan	24

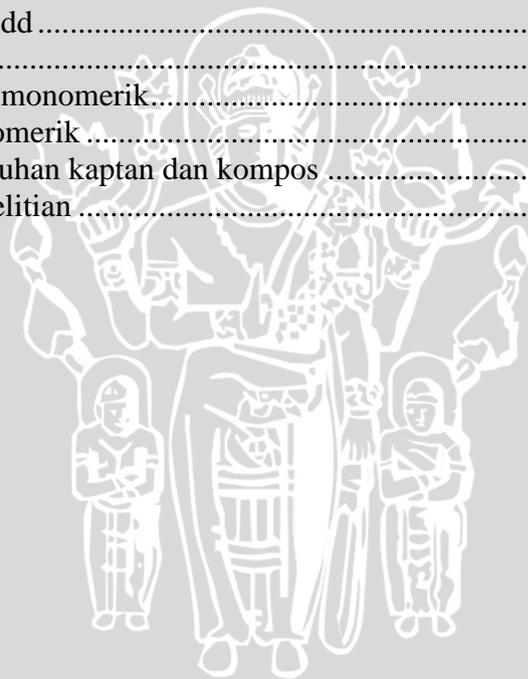


DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Skema diagnosis pemicu terjadinya masalah, upaya perbaikan, dan output yang diharapkan	1
2.	Skematis tingkat kompleksitas studi perakaran	3
3.	Pendugaan hubungan konsentrasi Al terhadap total panjang akar	4
4.	Distribusi akar mulai dari akar primer pertama pada sawit berumur 10 tahun ..	5
5.	(a) Split-pot yang digunakan untuk percobaan. (b) Bibit kelapa sawit diletakkan di bagian atas split-pot	10
6.	Skema split-pot pada masing-masing perlakuan	11
7.	Persiapan pot terbelah untuk percobaan	14
8.	Proses pengamatan pertumbuhan tajuk (pengukuran vegetatif)	15
9.	Intersepsi garis pada pengukuran total panjang akar	16
10.	Nisbah Lrv (+/0) antarsub-pot pada masing-masing perlakuan pemberian Al dan amelioran	17
11.	Nisbah Drv (+/0) antar sub-pot pada masing-masing perlakuan	18
12.	Nisbah specrol antarsub-pot pada masing-masing perlakuan pemberian Al dan amelioran	19
13.	Persentasi peningkatan pertumbuhan vegetatif bibit kelapa sawit	20
14.	Rata-rata biomassa tajuk kelapa sawit dengan berbagai perlakuan	21
15.	Hubungan berat kering (BK) akar dengan BK tajuk dengan berbagai berbagai perlakuan	21
16.	Nisbah berat kering tajuk dan berat kering akar kelapa sawit dengan berbagai perlakuan	22
17.	Hubungan nisbah tajuk:akar pada percobaan pot tunggal dan percobaan pot terbelah	23
18.	Nisbah pH H ₂ O dan KCl pada masing-masing sub-pot perlakuan	24
19.	Nisbah Al-dd(-perlakuan)/Al-dd(+perlakuan) pada masing-masing sub-pot perlakuan	25
20.	Nisbah Al-monomerik(-perlakuan)/Al-monomerik(+perlakuan) pada masing-masing sub-pot perlakuan	26
21.	Hubungan pH H ₂ O dan pH KCl dengan konsentrasi Al-dd dalam tanah	27
22.	Hubungan antara pH H ₂ O dan pH KCl dengan konsentrasi Al-monomerik ..	27
23.	Hubungan korelasi antara Al-monomerik dengan total panjang akar (Lrv) ...	27

DAFTAR LAMPIRAN

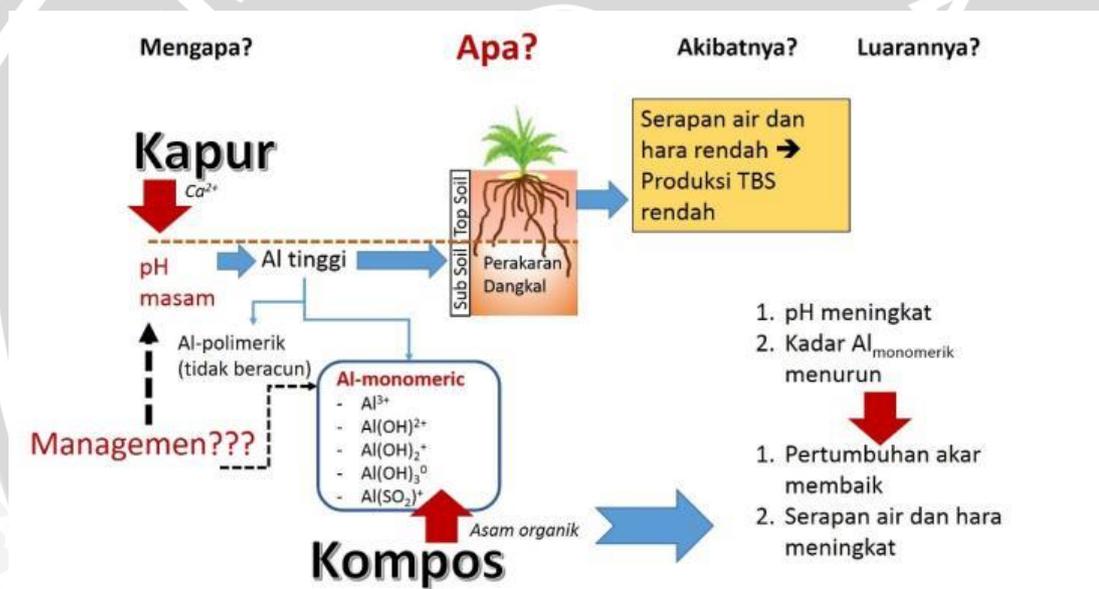
Nomor	Teks	Halaman
1.	Analisa ragam total panjang akar (Lrv)	37
2.	Rata-rata total panjang akar (Lrv)	37
3.	Analisa ragam total berat kering akar (Drv)	37
4.	Rata-rata total berat kering akar (Drv)	38
5.	Tabel nisbah Lrv, Drv, dan specrol antar sub-pot	38
6.	Persen kenaikan vegetatif tanaman kelapa sawit	39
7.	Karakteristik kimia tanah setelah perlakuan	40
8.	Analisa ragam pH H ₂ O	41
9.	Rata-rata pH H ₂ O	41
10.	Analisa ragam pH KCl	41
11.	Rata-rata pH KCl	41
12.	Analisa ragam Al-dd	42
13.	Rata-rata Al-dd	42
14.	Analisa ragam Al-monomerik	42
15.	Rata-rata Al-monomerik	42
16.	Perhitungan kebutuhan kaptan dan kompos	45
17.	Dokumentasi Penelitian	47



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan kelapa sawit di PT. Astra Agro Lestari Tbk. Kumai, Pangkalan Bun, dilaporkan mengalami hambatan di tanah lapisan bawah (Oktovani, 2012), sehingga dimusim kemarau pertumbuhan kelapa sawit berpotensi besar dibatasi oleh defisit air. 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 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.

Firmansyah (2010) mengemukakan bahwa pada umumnya lahan kering di wilayah tropika basah tersusun dari tanah-tanah masam dengan toksisitas Al (Aluminium) tinggi, seperti Ultisols, Oxisols, maupun Spodosol. Hal tersebut terjadi sebagai akibat dari tingginya proses pencucian sehingga banyak basa-basa yang hilang dari daerah jelajah akar, maka tingkat kesuburan tanahnya rendah. Tingginya curah hujan dan juga faktor pembentuk tanah lainnya seperti bahan induk masam, topografi, vegetasi, dan waktu menyebabkan tanah tropis terlapuk lanjut. Pelapukan terjadi secara intensif meninggalkan ion-ion Al^{3+} maupun oksida-oksida

besi. Tingginya Al^{3+} pada tapak jerapan maupun larutan tanah menyebabkan kemasaman tanah meningkat dan konsentrasi yang dominan sehingga unsur Al^{3+} menjadi toksik.

Menurut Blamey *et al.* (1983), Al didalam 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+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{SO}_4)$. Pengaruh tidak langsung Al terhadap pertumbuhan tanaman adalah melalui pengaruhnya terhadap pengikatan 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).

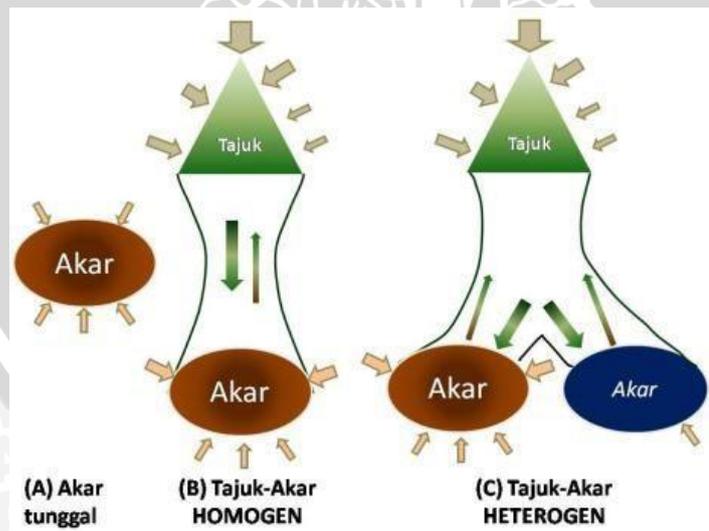
Kondisi kimia tanah di Kumai umumnya bersifat masam dengan pH rata-rata 4,5 (Hairiah *et al.*, 2014), dengan kandungan C-organik rendah rata-rata <2,0%, kadar P tersedia rendah rata-rata 10 mg.kg⁻¹ dan kandungan unsur beracun Al tinggi rata-rata 2,9 cmol.kg⁻¹. Masalah keracunan Al mulai muncul bila pH tanah <5 (Nasution, 2014), maka kemungkinan besar akar tanaman dihadapkan pada masalah keracunan Al. Menurut Sutarta dan Winarna (2009), ambang kritis keracunan Al pada bibit kelapa sawit pada umur 9 bulan adalah pada taraf sekitar 300 mg.kg⁻¹. Gejala keracunan Al pada tanaman yaitu pertumbuhan akar tidak normal, akar pendek, menebal, dan terjadi klorosis pada bagian antar tulang daun tua berwarna putih/kuning. Selain itu, percobaan lain mengenai keracunan Aluminium pada kelapa sawit yang dilaporkan oleh Cristancho *et al.*, (2010) 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.

Pada umumnya, Al mengganggu pembelahan sel pada ujung akar dan cabang akar, dinding sel menjadi lebih kaku. Unsur Al juga akan mengkelat P kedalam bentuk $\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$ yang kurang tersedia di permukaan dan di dalam akar (Hairiah, 1992), 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 *et al*, 2001).

Pertumbuhan akar kelapa sawit dapat ditingkatkan di lapisan bawah dengan menambahkan dolomit atau bahan organik (biomasa sawit) (Nurwinda, 2015 dan 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.

Kondisi tanah di lapangan tidak akan pernah homogen seperti yang kita jumpai dalam percobaan pot pada umumnya (Gambar 2), pada kondisi lapangan akar dihadapkan pada banyak pilihan. Kondisi tersebut, menyebabkan hasil uji dalam percobaan pot tidak bisa langsung diimplementasikan di lapangan. Sebagai langkah intermedium yang diharapkan dapat menjembatani kedua kondisi tersebut adalah dengan jalan memberikan peluang bagi akar untuk memilih kondisi tanah yang berbeda dengan melakukan percobaan “*pot terbelah*” (split-pot experiment).



Gambar 2. Skematis tingkat kompleksitas studi perakaran; (A) tingkat akar tunggal, (B) hubungan tajuk-akar tanaman dalam kondisi homogen, (C) hubungan tajuk-akar tanaman dalam kondisi heterogen (Hairiah, 1992).

1.2 Tujuan

Mengevaluasi tingkat kerusakan akar kelapa sawit oleh adanya keracunan Al dan upaya perbaikan pertumbuhan akar kelapa sawit dengan menambahkan campuran kapur dan kompos berdasarkan pada percobaan pot terbelah.

1.3 Manfaat

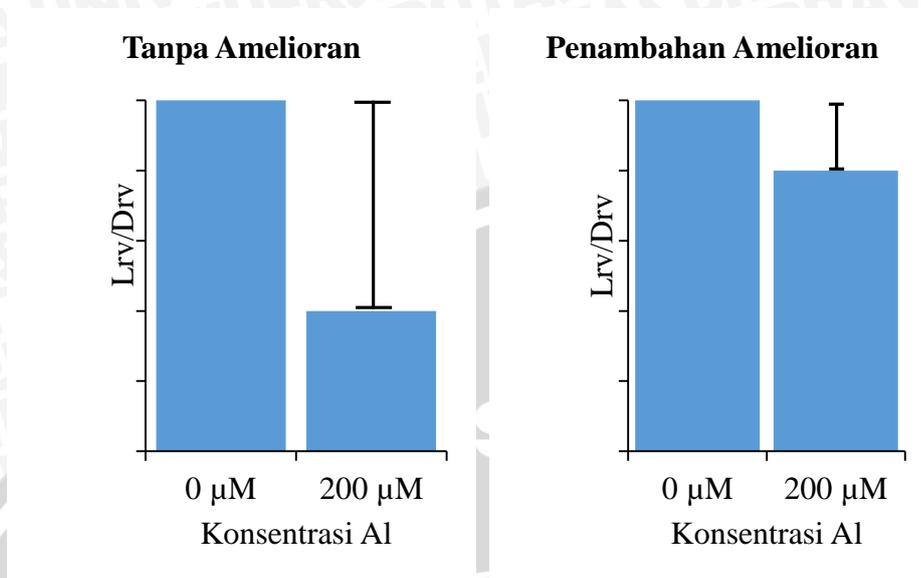
Hasil penelitian ini bermanfaat untuk mengevaluasi tingkat toleransi akar kelapa sawit terhadap keracunan Al yang selanjutnya dapat dipakai sebagai dasar perbaikan strategi manajemen tanah di perkebunan kelapa sawit.

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. Namun demikian, banyak hasil penelitian perbaikan akar kelapa sawit dengan menambahkan amelioran Al pada percobaan pot dengan satu macam media saja, sehingga hasil percobaan tersebut tidak dapat diimplementasikan di lapangan. Oleh karena itu, percobaan pot ini akan dilakukan pada kondisi yang heterogen.

1.5 Hipotesis

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



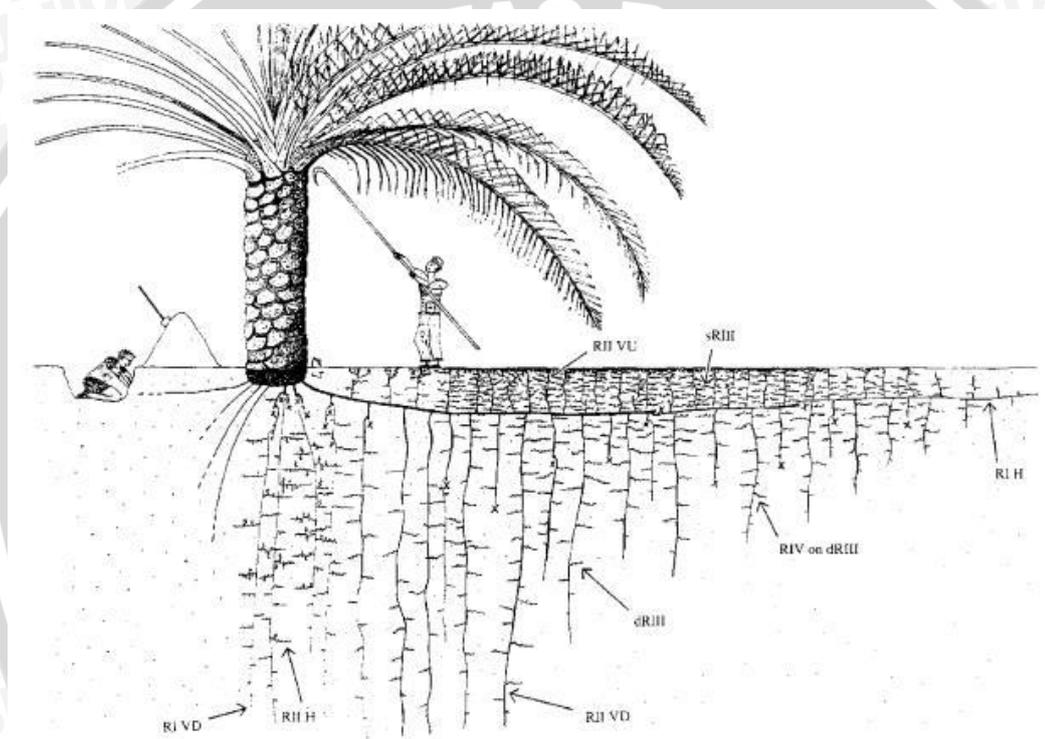
Gambar 3. Pendugaan hubungan konsentrasi Al terhadap total panjang akar.



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Akar Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit termasuk kedalam tanaman berbiji satu (monokotil) yang memiliki akar serabut. Saat awal perkecambah, akar pertama muncul dari biji yang berkecambah (radikula). Setelah itu, radikula akan mati dan membentuk akar utama atau primer. Selanjutnya, akar primer membentuk akar sekunder, tertier, dan kuartener (Lubis dan Widanarko, 2011).



Gambar 4. Distribusi akar mulai dari akar primer pertama pada sawit berumur 10 tahun.

Keterangan: RI (primer), RII (sekunder), sRIII (Akar tersier permukaan, yang biasanya mempunyai cabang yang banyak), dRIII (Akar tersier dalam, mempunyai percabangan yang sedikit), RIV (Kuartener), VD (Akar vertikal yang semakin mengecil), VU (Akar vertikal yang semakin meningkat), H (Horizontal) (Sumber: Jourdan and Rey, 1997 dalam Corley and Tinker, 2003).

Perakaran kelapa sawit yang telah terbentuk sempurna umumnya memiliki akar primer dengan diameter 5-10 mm, akar sekunder 2-4 mm, akar tersier 1-2 mm, dan akar kuartener 0.1-0.3 mm. Akar yang paling aktif menyerap air dan unsur hara

adalah akar tersier dan kuartener yang berada pada kedalaman 0-60 cm dengan jarak 2-3 meter dari pangkal pohon (Lubis dan Widanarko, 2011).

Sekitar sebulan setelah perkecambahan, akar primer adventif pertama muncul dari persimpangan radikula-hipokotil, dan kemudian ruas batang sawit bagian bawah akan membesar dan merupakan media bagi pertumbuhan akar untuk mempertahankan produksi akar kelapa sawit diatas permukaan tanah. Akar kadang-kadang berkembang pada batang hingga 1 m di atas tanah, tetapi biasanya akar tersebut kering sebelum mencapai tanah (Corley and Tinker, 2003).

2.2 Keracunan Aluminium pada 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). Aluminium merupakan sumber kemasaman tanah karena Al^{+3} hidrolisis menghasilkan ion H^+ .

Gejala awal yang tampak pada tanaman keracunan Al adalah sistem perakaran tidak berkembang dengan baik. Hal ini menjadi faktor pembatas bagi produktivitas tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keracunan Al menyebabkan biomassa kering akar menurun. Spehar dan Souza (2006, dalam Proklamasiningsih, 2012) menyatakan bahwa pengaruh buruk Al ditunjukkan oleh menurunnya pertumbuhan tanaman yang disebabkan oleh berkurangnya biomassa akar. Pemberian Al-nitrat pada media tanam cenderung lebih meracun dibandingkan dengan pemberian Al-laktat, terbukti dari pengamatan biomassa kering pada pemberian Al-nitrat yang lebih rendah (Proklamasiningsih, 2012).

Tanaman yang keracunan aluminium (Al) perkembangan akarnya terhambat, lebih parah dibandingkan dengan bagian atas tanaman. Pada daun tampak warna antar tulang daun kuning kemerahan sampai putih, ujung dan tepi daun mengering. Terhambatnya pertumbuhan tanaman bagian atas juga disebabkan oleh ikut kahatnya hara lain seperti Mg, Ca, dan P, pekanya tanaman terhadap kekeringan, dan tidak seimbangya fitohormon. Tanaman menjadi kerdil atau terhambat pertumbuhannya, terutama untuk varietas-varietas yang lebih peka terhadap keracunan Al tersebut (Makarim, tanpa tahun).

Berdasarkan hasil yang telah dilakukan oleh Sutarta dan Winarna (2009), penentuan ambang kritis keracunan beberapa logam berat seperti Aluminium dilakukan berdasarkan hasil bobot kering bibit kelapa sawit umur 9 bulan. Ambang kritis keracunan logam Al adalah pada taraf dosis sekitar 300 mg kg⁻¹.

2.3 Manajemen Keracunan Aluminium

Perbaikan tanah yang masam akibat Aluminium dapat dilakukan dengan cara pengapuran, pemberian bahan organik, dan penggunaan varietas toleran.

2.3.1 Pengapuran

Pengapuran dilakukan untuk meningkatkan pH tanah yang masam. Namun pengapuran yang berlebih dapat menyebabkan defisiensi beberapa unsur mikro sebagai akibat naiknya pH. Pengapuran sebaiknya hanya dilakukan bila pH tanah dibawah 5. Pada pH diatas 5,5 pemberian dolomit menyebabkan tanggapnya Al rendah karena sudah mengendap menjadi Al(OH)₃ (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006).

Tisdale *et al.* (1985) mengemukakan bahwa terdapat beberapa keuntungan dari pengapuran yang dilakukan pada tanah masam, baik itu langsung maupun tidak langsung. Pengaruh langsung yaitu dapat mengurangi keracunan Al. Menurut Soepardi (1983) dan Tisdale *et al.* (1985) menyatakan bahwa beberapa pengaruh tidak langsung dari pengapuran adalah pada ketersediaan P, hara mikro, meningkatkan kejenuhan basa, fiksasi N pada leguminose, dan memperbaiki sifat fisik tanah. Hal tersebut didukung dengan Kamprath (1970) yang mengemukakan bahwa pengapuran dapat meningkatkan efisiensi pupuk P pada tanah masam yang

memiliki jumlah Al-dd yang cukup besar. Peningkatan kelarutan P tersebut sangat berhubungan dengan penetralan Al-dd.

2.3.2 Penambahan Bahan Organik

Bahan organik dapat larut, terutama asam-asam fulvik yang biasanya terdapat pada bahan organik dapat mengurangi keracunan Al. cara tersebut efektif bila cekaman lahan masam hanya terjadi pada lapisan olah. Kandungan bahan organik tanah merupakan indikator penting dalam mengevaluasi kesuburan tanah karena dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara serta menurunkan keracunan Al dan Fe, memperbaiki struktur tanah, kemampuan tanah menahan air, dapat menyediakan energy yang diperlukan oleh mikrobiologi tanah (Hairiah *et al.*, 2000).

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 mampu menurunkan toksisitas Al melalui pengkhelatan Al oleh senyawa humik (Firmansyah, 2010).

2.3.3 Penggunaan Varietas Toleran

Bila cekaman tanah masam terjadi hingga ke lapisan subsoil, maka penggunaan varietas toleran atau adaptif tanah masam dapat mengatasi masalah tersebut (Foy, 1974). Perbedaan toleransi tanaman terhadap keracunan Al adalah disebabkan oleh menghindarnya akar tanaman dari lokasi Al yang berlebihan dan tolerannya akar tanaman terhadap Al. Sedangkan menurut Firmansyah (2010) perbaikan melalui tanaman dimulai dengan memahami mekanisme respon tanaman peka maupun toleran Al. Mekanisme toleransi tanaman terhadap Al terbagi dua macam: 1) Mekanisme eksternal melalui pengusiran Al, 2) mekanisme internal yaitu kemampuan tanaman menetralkan Al. Kedua mekanisme tersebut terkait erat dengan senyawa organik didalam tanaman maupun yang disekresikan. Asam oxalat, asam sitrat, asam malat, beberapa jenis protein, gugus fenolik merupakan beberapa contoh senyawa organik yang dikembangkan tanaman untuk mengatasi toksisitas Al.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian semi terkontrol ini merupakan bagian dari kegiatan kerjasama penelitian antara Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya dengan PT. Astra Agro Lestari Tbk. (UB-ASTRA) yang dilakukan di Lahan Percobaan Bibitan *Research and Development* PT. Astra Agro Lestari Tbk. Penelitian dilaksanakan dalam dua tahap: percobaan pot dan analisis laboratorium, yang dilaksanakan pada bulan Januari hingga Mei 2016 (5 bulan).

3.2 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

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 penelitian ini tergolong sebagai tipe B-1 (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 (Klasifikasi Schmidh-Fergusson) rata-rata sebesar 2443 mm th⁻¹ dengan jumlah hari hujan rata-rata 101 hari th⁻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 plot pengamatan (Oktovani, 2012).

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

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Pot terbelah atau split-pot merupakan wadah yang digunakan selama percobaan yaitu berupa box plastik berukuran box 46 cm× 31 cm× 15 cm yang dibagi menjadi dua bagian dengan jalan menyisipkan pembatas plastik, seperti yang digambarkan dalam Gambar 5.



(a)



(b)

Gambar 5. (a) Split-pot yang digunakan untuk percobaan. (b) Bibit kelapa sawit diletakkan di bagian atas split-pot

3.3.2 Bahan

Tanah lapisan bawah yang diambil dari blok OA 29 AMR pada kedalaman 30-60 cm. Bahan kimia Aluminium (Al) yang digunakan adalah AlCl₃.6H₂O (100 μM, 200 μM, dan 400 μM), amelioran Al yaitu kapur pertanian (Kaptan) dan kompos yang dibuat dari sisa residu sawit berupa tandan kosong yang ada di PT. AAL. Bibit kelapa sawit dengan varietas Tennera ditanam pada polybag dengan bagian bawah yang terbuka dan media tanam yang digunakan merupakan tanah lapisan atas seperti yang digambarkan pada Gambar 5.

3.4 Metode Pelaksanaan

3.4.1 Rancangan Percobaan

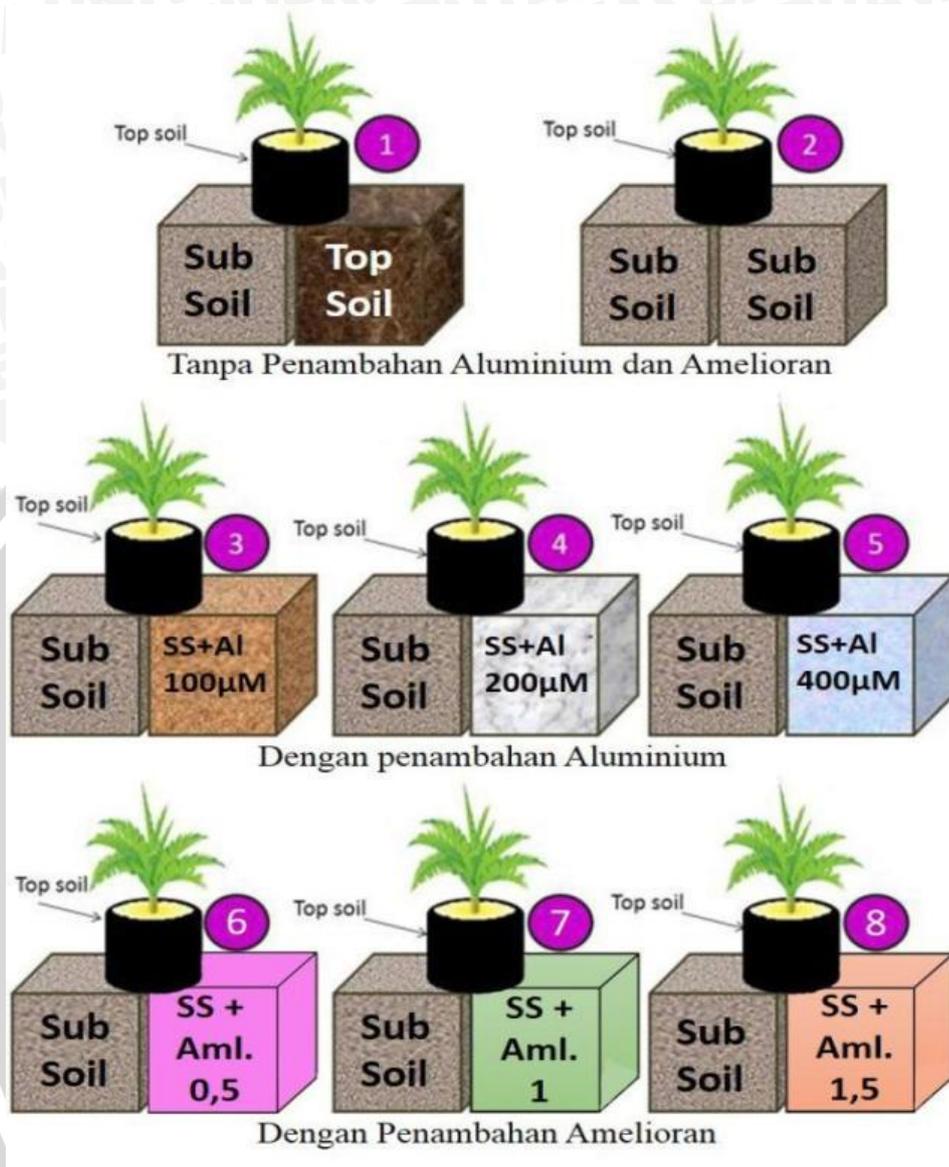
Dalam percobaan ini terdapat 8 macam perlakuan penambahan $AlCl_3$ dan campuran kaptan dan kompos yang diaplikasikan ke tanah bawah (Tabel 2) yang secara skematis dijelaskan dalam Gambar 7. Perlakuan disusun menurut Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 4 kali ulangan (gambar 6):

Tabel 2. Kombinasi perlakuan yang diuji dalam percobaan pot terbelah.

No.	Sub-pot		Konsentrasi $AlCl_3$ dalam sub-pot 2	Kode
	1	2		
1.	Sub-soil (SS)	Top-soil (TS)	Tanpa Al	K 1/0
2.	SS	SS	Tanpa Al	K 0/0
3.	SS	SS+ Al	100 μM Al	AL 1/0
4.	SS	SS+ Al	200 μM Al	AL 2/0
5.	SS	SS+ Al	400 μM Al	AL 4/0
6.	SS	SS+ Amelioran (0,5x dosis)	Tanpa Al	AM 0.5/0
7.	SS	SS+ Amelioran (1x dosis)	Tanpa Al	AM 1.0/0
8.	SS	SS+ Amelioran (1,5x dosis)	Tanpa Al	AM 1.5/0



Gambar 6. Design plot penelitian percobaan pot terbelah



Gambar 7. Skema split-pot pada masing-masing perlakuan.

Percobaan ini dilakukan selama 8 minggu setelah aplikasi perlakuan, dengan demikian jumlah bibit sawit yang digunakan: $8 \text{ (perlakuan)} \times 4 \text{ (ulangan)} = 32$ bibit sawit. Pemanenan bibit kelapa sawit akan dilakukan pada minggu ke-8 setelah aplikasi.

3.4.2 Variabel Pengukuran

Beberapa variabel yang diukur dalam penelitian mengenai toleransi akar kelapa sawit terhadap keracunan Al dalam kondisi heterogen adalah pada Tabel 3.

Tabel 3. Variabel yang diamati dan waktu pengamatannya.

No.	Variabel yang diamati	Waktu Pengamatan
Tanaman: Tajuk		
1	Tinggi tanaman	2 minggu sekali
2	Jumlah pelepah	2 minggu sekali
3	Panjang pelepah	2 minggu sekali
4	Lebar pelepah	2 minggu sekali
5	Diameter batang	2 minggu sekali
6	Berat Kering tajuk	Pada akhir percobaan
Tanaman: Akar		
1	Total Panjang Akar (Lrv, cm.cm ⁻³)	Pada akhir percobaan
2	Biomassa Akar (Drv, g.cm ⁻³)	Pada akhir percobaan
3	Nisbah Lrv/Drv (<i>Specrol</i>) (g.cm ⁻¹)	Pada akhir percobaan
Tanah		
1	pH KCl dan H ₂ O (variabel utama)	4 minggu sekali
2	Al-dd (variabel utama)	Awal dan akhir percobaan
3	Al-monomerik (variabel utama)	Awal dan akhir percobaan
4	C-organik	4 minggu sekali
5	Basa-basa yang dapat ditukar (Ca, Mg, dan K)	Awal dan akhir percobaan
6	P-tersedia	Awal dan akhir percobaan

Persiapan

Penyiapan bahan amelioran Al

Jumlah kapur dan kompos yang diaplikasikan ke dalam tanah adalah merujuk pada dosis yang biasa digunakan di PT AAL, yaitu kapur pertanian 0,68 Mg ha⁻¹ dan kompos 15 Mg ha⁻¹ dengan hasil analisis kandungan kapur dan kompos yang ditampilkan pada tabel 4 dan 5. Jumlah kapur dan kompos per perlakuan ditampilkan dalam Tabel 6.

Tabel 4. Hasil analisis kandungan pupuk kompos tandan kosong kelapa sawit

Contoh Analisis	pH H ₂ O	Bahan Organik			Kadar Total				
		C-Org %	N %	C/N	P2O5	K2O	CaO	MgO	Fe-total
Kompos TKKS*	7.91	47.850	1.192	40	0.201	1.84	0.42	0.24	502.46

*) TKKS= tandan kosong kelapa sawit

Tabel 5. Hasil analisis kandungan kapur pertanian tandan kosong kelapa sawit

Contoh Analisis	Kadar Air	MgO	CaO	CaO+MgO
	-----%-----			
Kapur Pertanian	20,50	0,01	50,86	50,87

Tabel 6. Dosis penambahan kapur dan kompos pada perlakuan.

No.	Perlakuan	Dosis (g/pot)	
		Kapur	Kompos
1.	Tanpa Amelioran	-	-
2.	Amelioran 0,5	1,21	53,47
3.	Amelioran 1,0	2,42	53,47
4.	Amelioran 1,5	3,63	53,47

3.4.3 Persiapan Tanah untuk Percobaan

Contoh tanah diambil dari lapisan tanah bawah (30-60 cm), masing-masing contoh tanah dicampur rata, dikering udarakan, dipukul pelan-pelan dengan kayu untuk memecahkan gumpalan tanah, dilanjutkan dengan pengayakan menggunakan ayakan ukuran mesh 2 mm.

Pot terbelah (split-pot) dibangun dari satu buah box plastik berukuran 46cm×31cm×15cm yang dibelah dengan menyisipkan selebar triplex sebagai pembelah pot, sehingga masing-masing bagian berukuran 23cm×31cm×15cm. Penghitungan jumlah tanah yang dibutuhkan per bagian box, dihitung berdasarkan volume box $46 \times 31 \times 15 \text{ cm}^3 = 21.390 \text{ cm}^3$ dan BI tanah yang diharapkan sama dengan BI di lapangan yaitu $1,2 \text{ g cm}^{-3}$. Dengan demikian jumlah tanah yang dibutuhkan adalah $25.668 \text{ g} \times 32 = 821.376 \text{ g}$ tanah (setara kering oven).

Sebelum tanah dimasukkan ke dalam pot, pada salah satu perlakuan disiram dengan Aluminium dan perlakuan yang lain diberi campuran kaptan dan kompos sesuai dosis yang telah ditentukan dan dicampur rata kemudian tanah dimasukkan ke masing-masing box (Gambar 8).



Gambar 8. Persiapan pot terbelah untuk percobaan: penghancuran gumpalan tanah kering udara untuk mendapatkan contoh tanah yang homogen, penimbangan contoh (1, 2, 3); pot terbelah yang telah siap untuk percobaan (4).

3.4.4 Pengamatan pertumbuhan Tanaman

Pengamatan pertumbuhan tanaman seringkali disebut dengan pengukuran vegetatif. Pengukuran vegetatif meliputi diameter batang, tinggi tanaman, jumlah daun, panjang pelepah, dan lebar pelepah. Pengukuran vegetatif dilakukan selama 2 minggu sekali dimulai dari minggu ke-0 pada awal percobaan.



Gambar 9. Proses pengamatan pertumbuhan tajuk (pengukuran vegetatif)

3.4.5 Pemanenan dan pengambilan contoh tanah dan tanaman

Pengambilan contoh tanah dilakukan pada masing-masing sub-pot perlakuan dengan berat contoh ± 1 kg untuk dianalisis laboratorium. Pengambilan contoh tanah ini dilakukan dengan cara membongkar box plastik dan dipisahkan berdasarkan sub-pot masing-masing perlakuan dengan pemanenan yang dilakukan

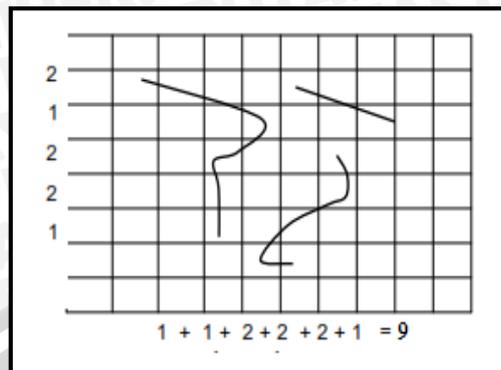
secara serentak. Tanah dan akar yang sudah dipisahkan dari box plastik selanjutnya akan dicuci akarnya dan dihitung biomasanya serta untuk analisis P dalam akar.

Selain pengambilan contoh tanah, dilakukan juga pengambilan contoh tanaman dengan cara membongkar polybag dan memisahkan tanaman berdasarkan tanah, akar, dan tajuk. Tanah yang berasal dari dalam polybag akan digunakan untuk analisis laboratorium non-perlakuan. Sedangkan sebagian tajuk akan digunakan untuk analisis P pada tanaman dan sebagian lagi untuk mengetahui biomassa dari tajuk tersebut.

Mengukur berat kering (BK) tajuk dilakukan dengan mengambil sampel pelepah kelapa sawit yang kemudian dipotong-potong. Kemudian dimasukkan dalam amplop kertas dan dioven dengan suhu 80°C selama 2×24 jam. Hasil dari pengovenan tersebut ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik.

3.4.6 Pengamatan Total Panjang Akar (Lrv) dan Berat Kering Akar (Drv) Akar Kelapa Sawit

Pengamatan akar secara destruktif dilakukan dengan pemanenan akar kelapa sawit pada minggu ke-8 dengan cara pembongkaran split-pot dan pengambilan akar kelapa sawit yang kemudian sampel dimasukkan kedalam plastik. Setelah itu, contoh akar dibersihkan dari tanah dengan cara disiram dengan air yang ditaruh diatas saringan 2 lapis agar tanah dan akar dapat dipisah dengan sempurna. Setelah melakukan pemisahan akar dari tanah, ditetapkan total panjang akar (Lrv) dengan metode intersepsi garis (Newman, 1966 dan Tennant, 1975) yaitu contoh akar disebar secara acak diatas piring kaca (25×25 cm) dan diberi sedikit air. Pada bagian dalam piring kaca ditaruh selembat kertas grafik yang sudah dilaminating dan ditutup dengan selembat kaca. Kemudian air yang ada pada piring kaca dihisap dengan menggunakan botol semprot kosong dan dihitung perpotongan akar dengan garis horizontal dan vertikal. Perhitungan intersepsi garis digambarkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Intersepsi garis pada pengukuran total panjang akar (Van Noordwijk et al., 2000)

Dari perhitungan tersebut maka total panjang akar (L_{rv}) dapat ditetapkan dengan 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

Kemudian, akar yang telah ditetapkan L_{rv} -nya dioven pada suhu 80°C selama 2×24 jam untuk mengetahui berat kering (D_{rv}) dari sampel akar tersebut.

3.4.7 Analisis dan Interpretasi Data

Untuk mengetahui pengaruh pemberian AI dan ameliorant AI terhadap L_{rv} , D_{rv} , Specrol , pH , AI-dd , dan AI-monomerik pada masing-masing sub-pot, data yang diperoleh dianalisis keragamannya dengan menggunakan tabel ANOVA dengan taraf kepercayaan 5% menggunakan program Genstat 15th edition. Bila data yang diperoleh berpengaruh nyata ($p < 0,05$), dilanjutkan dengan uji Duncan. Kemudian untuk mengetahui keeratan hubungan antara AI-dd dengan L_{rv} dan AI monomerik dengan L_{rv} dilakukan uji korelasi dan uji regresi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

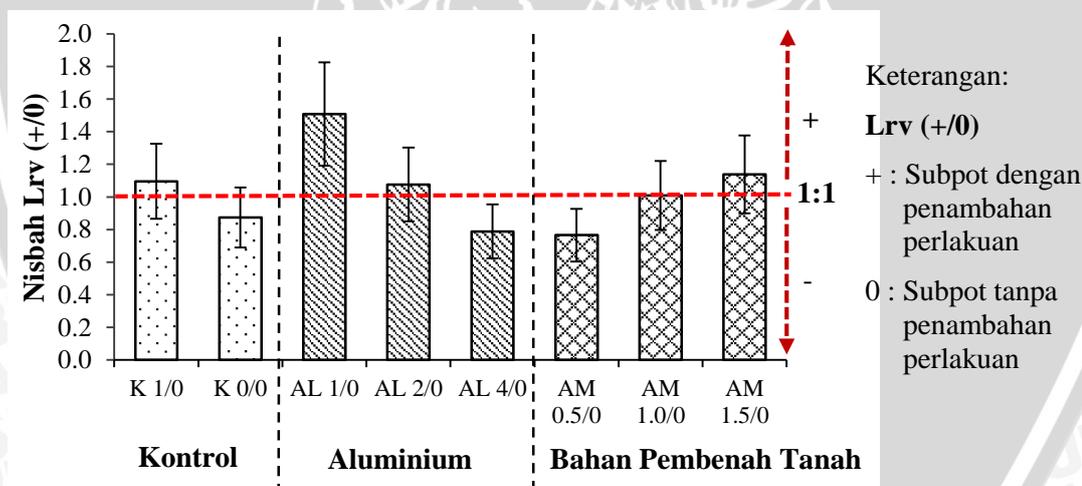
4.1 Respon Lokal Akar Terhadap Berbagai Penambahan Dosis

Aluminium dan Amelioran pada Kondisi Semi Terkontrol

4.1.1 Total Panjang Akar (Lrv)

Pengukuran total panjang akar (Lrv) bertujuan untuk mengetahui respon akar terhadap pemberian masing-masing perlakuan yaitu penambahan Al dan amelioran. Berdasarkan hasil uji analisis ragam diketahui bahwa penambahan Al dan amelioran tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap total panjang akar (Lrv), rata-rata Lrv $0,11 \text{ cm cm}^{-3}$.

Menurut Brouwer (1983), bahwa pada umumnya akar tanaman akan tumbuh menuju tempat yang lebih subur dan lembab, atau akar akan menghindari tempat-tempat yang kurang menguntungkan misalnya karena adanya keracunan Al dalam tanah (Hairiah, 1993), untuk itu dilakukan uji nisbah Lrv antarsub-pot (+/0) pada tiap-tiap perlakuan seperti tercantum pada Gambar 10.



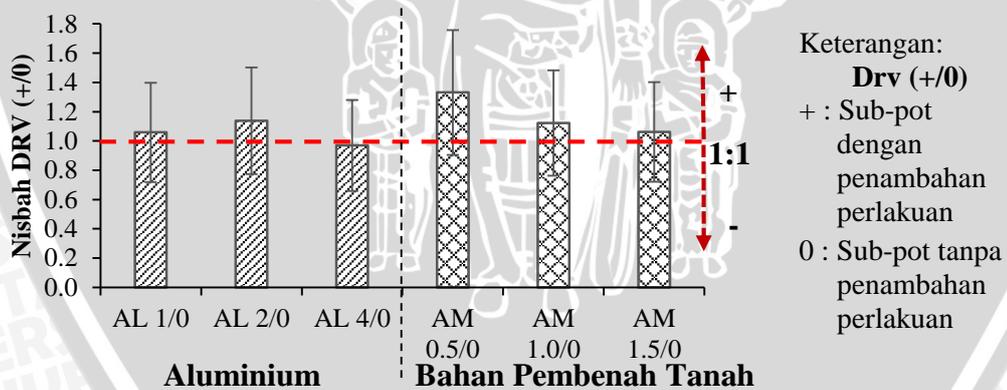
Gambar 11. Nisbah Lrv (+/0) antarsub-pot pada masing-masing perlakuan pemberian Al dan amelioran (Al 1= $100 \mu\text{M}$, Al 2= $200 \mu\text{M}$, Al 4= $400 \mu\text{M}$, AM 0.5= kaptan 0.5x dosis, AM 1.0= kaptan 1x dosis, AM 1.5= kaptan 1.5x dosis)

Jika nilai nisbah Lrv (+/0) yang diperoleh lebih besar dari 1, berarti bahwa akar bibit kelapa sawit lebih memilih untuk tumbuh pada subpot yang diberi perlakuan. Sedangkan jika nilai yang diperoleh kurang dari 1, maka akar bibit kelapa sawit cenderung untuk memilih pada subpot yang tidak diberi perlakuan.

Berdasarkan hasil uji orthogonal kontras diketahui bahwa akar bibit kelapa sawit tumbuh baik pada subpot (+) Al dosis 100 μM dan 200 μM , tetapi dengan meningkatnya dosis penambahan Al hingga 400 μM , maka akar kelapa sawit cenderung ($0,05 < p < 0,10$) untuk menghindari subpot yang diberi perlakuan. Namun demikian, tanah yang ditambah dengan bahan pembenah tanah (amelioran), didapati bahwa pertumbuhan akar terbaik terdapat pada subpot (+) dengan penambahan campuran kapur pertanian 1,5x dosis dengan kompos (dengan dosis aktual lapangan). Hal ini berarti bahwa akar kelapa sawit cukup toleran terhadap keracunan Al, namun bila ada pilihan lain maka akar tanaman kelapa sawit cenderung respon terhadap kondisi yang menguntungkan (tanpa Al).

4.1.2 Berat Kering Akar (Drv)

Pemberian Al ke dalam tanah cenderung membatasi pertumbuhan akar kelapa sawit, namun demikian berdasarkan hasil uji analisis ragam diketahui bahwa upaya pengurangan Al dengan menambahkan berbagai dosis kaptan tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap berat kering akar (Drv), nilai rata-rata seluruh perlakuan adalah $0,000111 \text{ g cm}^{-3}$.



Gambar 12. Nisbah Drv (+/0) antar sub-pot pada masing-masing perlakuan pemberian aluminium dan amelioran

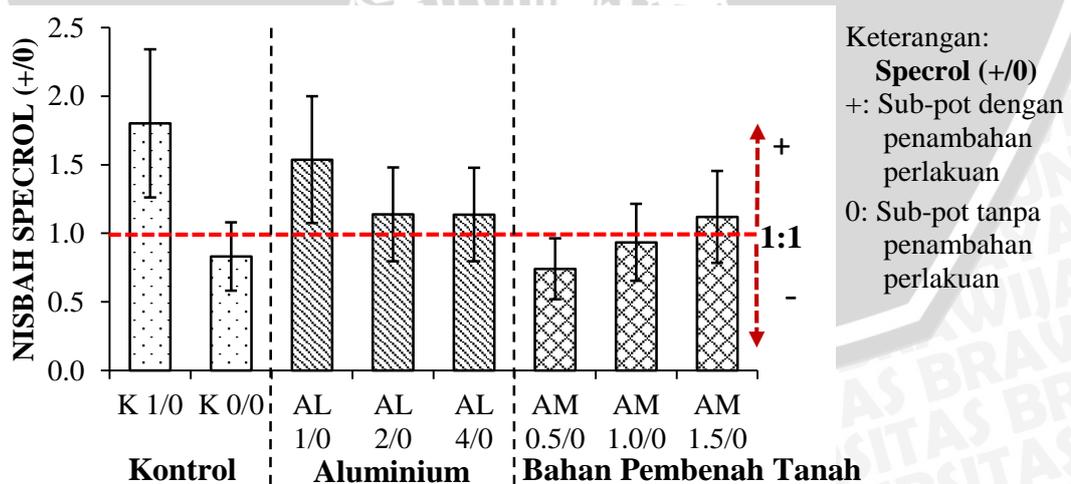
Guna mengetahui respon lokal akar sawit terhadap perlakuan, maka dilakukan uji orthogonal kontras terhadap nisbah Drv antarsub-pot (Drv (+/0)) antarperlakuan, hasilnya menunjukkan bahwa pemberian Al dan pemberian Kaptan cenderung berpengaruh nyata ($0,05 < p < 0,10$) terhadap berat kering akar (Drv), rata-rata Drv masing-masing perlakuan ditampilkan dalam Gambar 12. Bila nisbah Drv

(+/0) lebih besar dari 1,0, berarti pertumbuhan akar sawit memilih tumbuh baik dalam tanah yang diberi perlakuan.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Proklamasingih *et al.* (2012) menunjukkan bahwa keracunan Al menyebabkan biomassa kering akar pada tanaman kedelai varietas Wilis menurun dan apabila konsentrasi Al yang diserap oleh akar rendah, maka biomassa kering akar meningkat. Pengaruh buruk Al ditunjukkan oleh menurunnya pertumbuhan tanaman yang disebabkan oleh berkurangnya biomassa akar (Spehar dan Souza, 2006).

4.1.3 Nisbah Lrv/Drv (*Specrol*)

Penghitungan Nisbah Lrv/Drv (*Specrol*) bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon akar secara morfologi terhadap kondisi tanah disekelilingnya. Semakin besar nilai *specrol* yang diperoleh, maka akar yang ada dalam suatu media tersebut semakin halus. Setelah dilakukan uji analisis ragam terhadap data *specrol*, ternyata bahwa pemberian aluminium dan amelioran tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap nilai *specrol*, dengan nilai rata-rata *specrol* total seluruh perlakuan adalah 1223 g cm^{-1} . Oleh karena itu, dilakukan uji orthogonal kontras untuk menguji perbedaan *specrol* antar perlakuan, hasilnya disajikan dalam Gambar 13.



Gambar 13. Nisbah *specrol* antarsub-pot pada masing-masing perlakuan pemberian Al dan amelioran.

Sama halnya dengan hasil uji nisbah pada Lrv, dengan diberi sedikit stress Al (100 μ M) meningkatkan nilai specrol dan pemberian amelioran dengan dosis kaptan 1,5x dosis merupakan media tumbuh akar paling baik dibandingkan dengan dosis amelioran yang dibawahnya. Dari hasil uji orthogonal kontras dapat diketahui bahwa pemberian aluminium dan amelioran memberikan pengaruh yang nyata ($p < 0.05$) terhadap nisbah Lrv/Drv.

Berdasarkan hasil pengukuran pertumbuhan akar diatas, diketahui bahwa akar kelapa sawit toleran terhadap konsentrasi Al dengan konsentrasi 100-200 μ M. Menurut Corley (2003), pada umumnya kelapa sawit tumbuh pada tanah masam pada pH sekitar 4-5. Kelapa sawit adalah termasuk tanaman yang cenderung toleran dengan kemasaman tanah dan mampu tumbuh dengan pH tanah rata-rata 4.3 (Nieuwolt *et al.*, 1982 dalam Edgardo *et al.*, 1991). Syekhfani (2012b) mengemukakan bahwa hasil penelitian yang dilakukan oleh Vlamish (1953) menunjukkan bahwa penyebab utama pengaruh buruk pertumbuhan akar dan tajuk tanaman Jelai *Hordeum vulgare* bukan disebabkan oleh ion H⁺, melainkan efek keracunan ion Al³⁺. Distribusi akar pada umumnya tidak homogen, akar tumbuh pada media yang mampu mendukung pertumbuhannya (Lehmann, 2003).

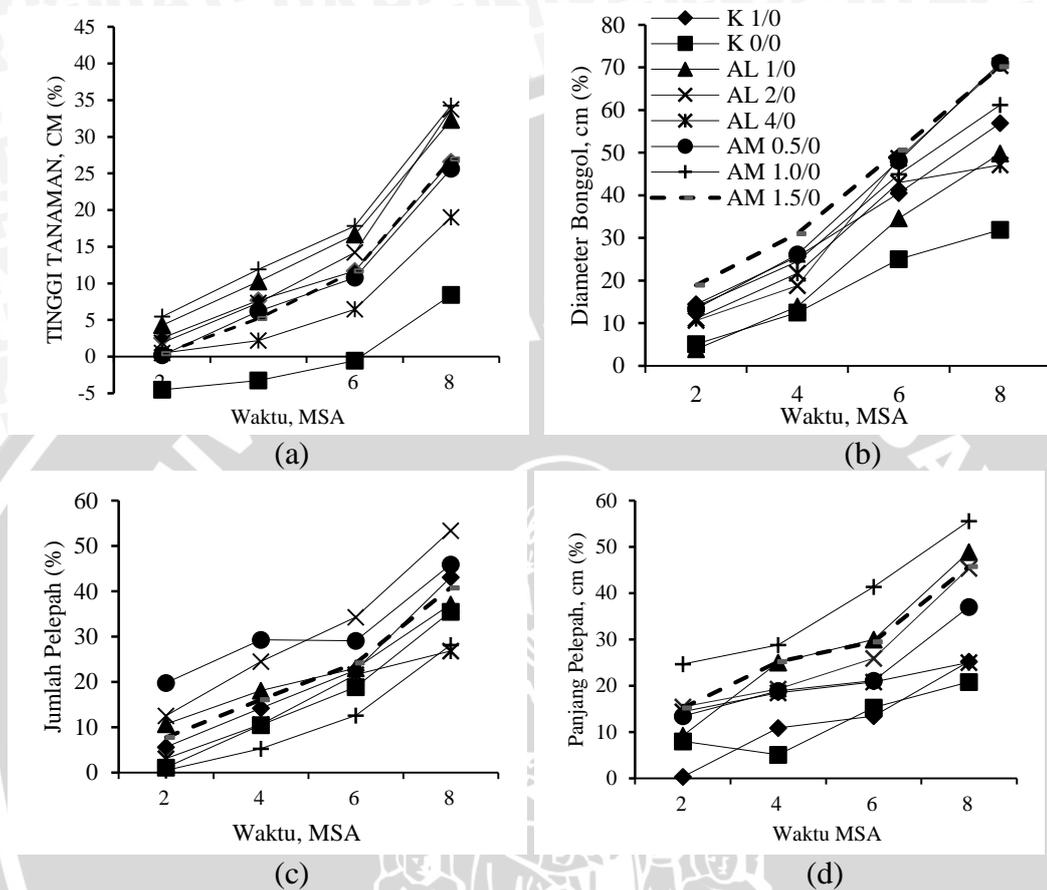
Penambahan kapur kedalam tanah dengan dosis yang tepat mampu meningkatkan pH tanah sehingga mampu menurunkan kelarutan beberapa unsur seperti Al, Fe, dan Mn (Tisdale *et al.*, 1985). Pemberian bahan pembenah tanah (amelioran) yang merupakan campuran dari kapur pertanian 1,5x dosis lapangan dengan kompos memberikan hasil terbaik terhadap pertumbuhan akar kelapa sawit. Menurut Lehmann (2003) pertumbuhan akar pada umumnya mengikuti air dan hara yang ada didalam tanah.

4.2 Hubungan Tajuk dengan Akar Kelapa Sawit

4.2.1 Pertumbuhan Vegetatif Tanaman

Pengukuran pertumbuhan vegetatif tanaman dilakukan selama 2 minggu sekali selama 8 minggu percobaan. Menginterpretasikan data hasil pengukuran vegetatif dilakukan dengan menghitung persentase pertumbuhan perpengukuran

diameter bonggol, tinggi tanaman, jumlah pelepah, dan panjang pelepah yang dibandingkan dengan minggu ke-0 (Gambar 14).

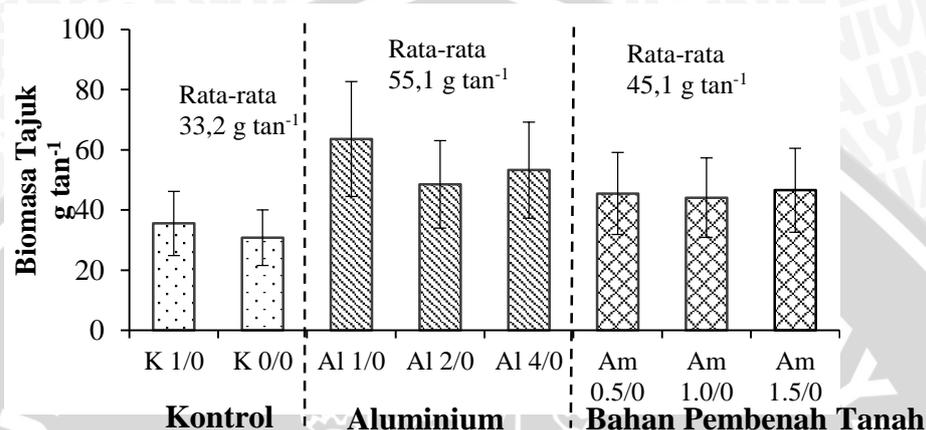


Gambar 14. Persentase peningkatan pertumbuhan vegetatif bibit kelapa sawit. (a) Tinggi tanaman (cm (%)), (b) Diameter bonggol (cm (%)), (c) Jumlah pelepah (%), (d) Panjang pelepah (cm (%)).

Dari hasil pengujian analisis ragam diperoleh bahwa pemberian Al dan amelioran berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap jumlah pelepah dan panjang pelepah dengan persentase kenaikan rata-rata masing-masing parameter adalah 21,4% dan 23,0%. Selain itu, pemberian Al dan amelioran memberikan hasil yang berbeda nyata ($p < 0,001$) pada diameter bonggol dan tinggi tanaman dengan rata-rata kenaikan masing-masing parameter adalah 33,1% dan 11,02%.

4.2.2 Biomassa Tajuk Tanaman

Pemberian $Al-Cl_3$ dan amelioran Al tidak berpengaruh nyata ($p>0,05$) terhadap biomassa tanaman kelapa sawit, rata-rata biomassa adalah $46,0 \text{ g tan}^{-1}$ (Gambar 15).



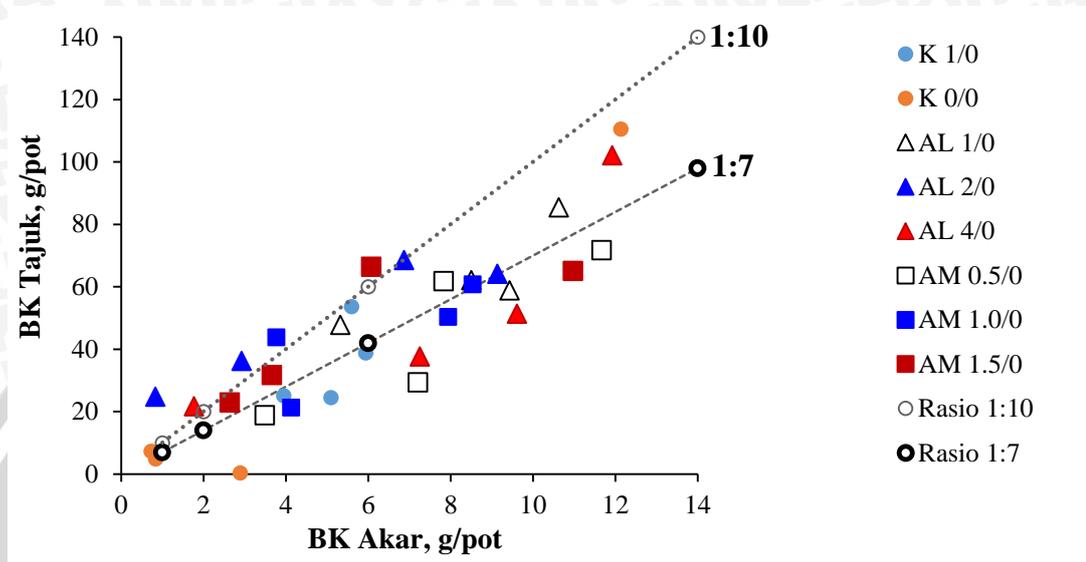
Gambar 15. Rata-rata biomassa tajuk kelapa sawit dengan berbagai perlakuan

4.2.3 Hubungan Akar dengan Tajuk Kelapa Sawit pada Percobaan Pot Terbelah

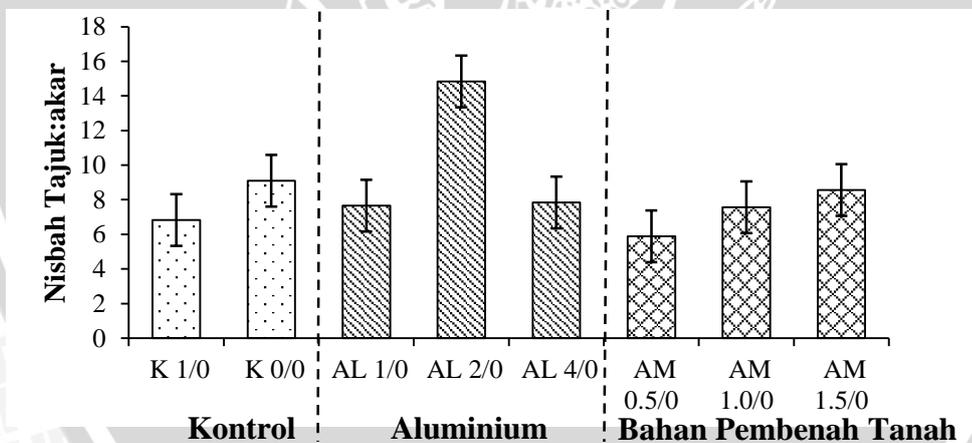
Akar berfungsi menyerap air dan hara dari dalam tanah untuk memenuhi kebutuhan tajuk. Terjadinya hambatan pertumbuhan dalam media tanaman akan diikuti oleh perubahan nisbah tajuk dan akar (Hairiah *et al.*, 2000). Hubungan tajuk dan tanaman dilihat dari nisbah berat kering tajuk dan berat kering akar pada masing-masing perlakuan. Jika hasil perhitungan nisbah berat kering tajuk:akar semakin tinggi, hal tersebut berarti 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.

Nisbah tajuk:akar kelapa sawit aktual pada kondisi lapangan di Kumai adalah sekitar 7:1 di tanah berklei dan 3:1 di tanah berpasir (Oktovani, 2012), sedangkan dari percobaan pot terbelah dalam kondisi semi terkontrol ini nisbah tajuk:akar rata-rata kurang dari 10:1 (Gambar 16), kecuali pada perlakuan penambahan Al $200\mu\text{M}$ dan penambahan campuran kaptan dengan dosis 1,5x dosis lapangan dan kompos. Nisbah tajuk:akar rata-rata disajikan dalam Gambar 16,

nisbah tajuk:akar terbesar di dapat pada perlakuan penambahan Al 200 μ M diperoleh 15:1.



Gambar 16. Hubungan berat kering (BK) akar dengan BK tajuk dengan berbagai berbagai perlakuan

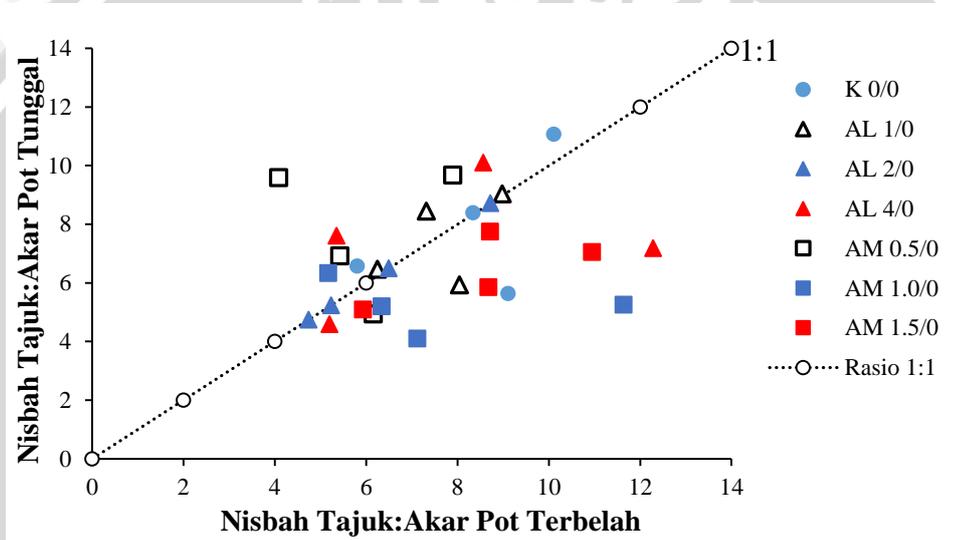


Gambar 17. Nisbah berat kering tajuk dan berat kering akar kelapa sawit dengan berbagai perlakuan

4.2.4 Hubungan Nisbah Tajuk:Akar pada Percobaan Pot Tunggal dan Pot Terbelah

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa percobaan pot terbelah yang dilakukan adalah untuk menjembatani antara percobaan pot tunggal dan aplikasinya di lapangan. Perbedaan antara percobaan pot tunggal dan pot terbelah adalah kondisi media yang digunakan. Jika di pot tunggal, akar “dipaksa” untuk tumbuh pada tanah

yang telah diberi perlakuan; sedangkan pada pot terbelah, akar diberi “pilihan” untuk tumbuh pada tanah perlakuan (sub-pot 1) atau tanah kontrol (sub-pot 2) seperti layaknya akar tumbuh di kondisi alami di lapangan. Hasil perhitungan nisbah tajuk:akar yang diperoleh dari percobaan pot tunggal (Rahmawati, 2016) menunjukkan hasil yang sama dengan yang diperoleh di percobaan pot terbelah dalam percobaan ini yang ditunjukkan oleh sebaran data (sekitar 70% - 80%) nisbah tajuk:akar dari kedua macam percobaan kebanyakan jatuh mendekati garis linear 1:1 (Gambar 18).



Gambar 18. Hubungan nisbah tajuk:akar pada percobaan pot tunggal dan percobaan pot terbelah

Pada penambahan amelioran dengan 0,5x dosis lapangan memiliki nilai lebih tinggi dari pada perlakuan yang sama di percobaan pot tunggal, sedangkan penambahan amelioran pada 1,0x dan 1,5x dosis lapangan menunjukkan nilai nisbah tajuk:akar pada pot terbelah lebih tinggi dibandingkan dengan yang diperoleh di pot tunggal.

4.3 Kondisi Tanah Sebelum dan Sesudah Perlakuan

4.3.1 Kondisi Tanah Sebelum Perlakuan

Tanah yang digunakan sebagai media perlakuan adalah tanah berordo Ultisols, tekstur loam berklei dengan tingkat kemasaman tanah yang cukup tinggi

rata-rata pH H₂O 4,42 dan pH KCl 3,94. Selain itu, kadar P tersedia, K, Ca, Mg yang termasuk rendah dan Al-dd yang tinggi (Tabel 7).

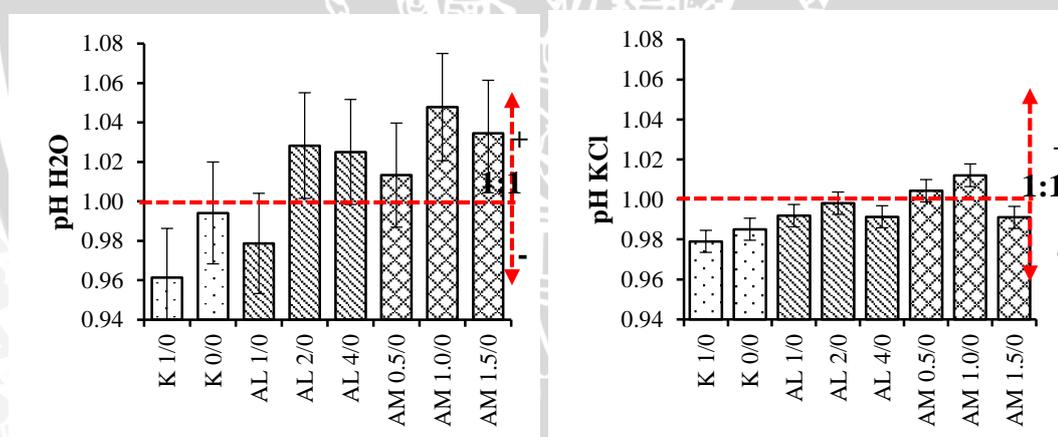
Tabel 7. Karakteristik kimia tanah sebelum perlakuan yang digunakan untuk percobaan.

Contoh Tanah	pH		C organik, %	Basa-basa dd			P tersedia mg kg ⁻¹	Al-dd cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	Al-monomerik cmol ₍₊₎ kg ⁻¹
	H ₂ O	KCl		K	Ca	Mg			
Top Soil	4,37	3,81	2,35	0,58	0,64	0,14	6,0	2,39	0,0100
Sub-soil	4,24	4,09	0,75	0,36	0,18	0,35	10,1	0,94	0,0067

4.3.2 Kondisi Tanah Setelah Perlakuan

1. pH Tanah

Pemberian perlakuan Al dan amelioran pada sub-pot 1 dan tanah kontrol pada sub-pot 2 memberikan nilai pH berbeda-beda pada masing-masing sub-pot (Gambar 19). Hasil uji analisis ragam menunjukkan bahwa pemberian Al dan amelioran memberikan pengaruh yang sangat berbeda nyata ($p < 0,001$) terhadap pH KCl dan tidak berbeda nyata terhadap pH H₂O ($p > 0,05$).



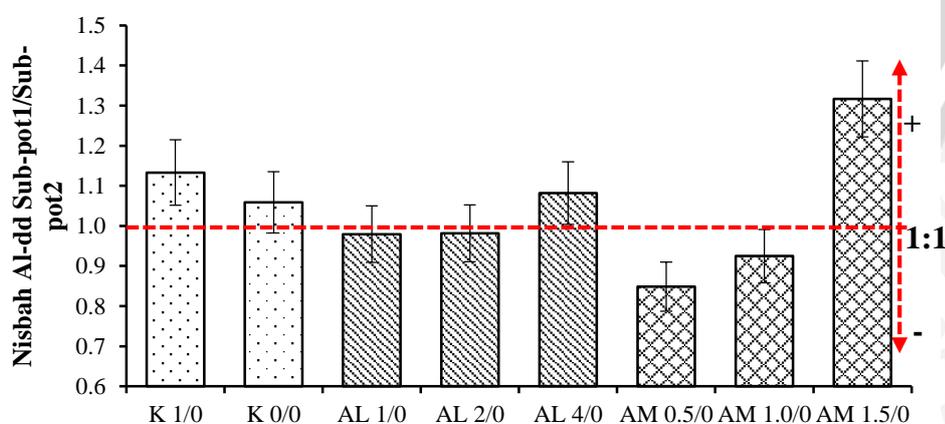
Gambar 19. Nisbah pH H₂O dan KCl pada masing-masing sub-pot perlakuan

Berdasarkan hasil pengukuran pH pada masa akhir percobaan, diketahui bahwa dengan pemberian Al 100µM menurunkan pH H₂O. Berbanding terbalik dengan Al 100µM, pemberian Al 200 dan 400µM meningkatkan pH tanah dibandingkan dengan tanah kontrol. Sedangkan pada pemberian amelioran mampu meningkatkan pH-H₂O dibandingkan dengan tanah kontrol.

Tanah Ultisols didominasi mineral-mineral kaolinit, oksida besi dan aluminum, sehingga memiliki kapasitas tukar kation yang rendah. Dalam salah satu studi kasus di Karta, Pakuan Ratu, pH KCl selalu lebih rendah dari pH H₂O. Perbedaan antara dua nilai pH ini biasanya dikaitkan dengan muatan total tanah. Jika pH KCl lebih tinggi dari pH H₂O, menunjukkan tanah tersebut mempunyai muatan total positif (kapasitas tukar anion lebih besar). Tanah dengan pH KCl lebih rendah dari pH H₂O, mempunyai muatan total negatif (kapasitas tukar kation lebih besar). Walaupun nilai muatan total negatif, namun kapasitas tukar kation yang dihasilkan sangat rendah, karena kandungan liat yang rendah. Sumbangan muatan negatif dari bahan organik juga sangat rendah, sebagai akibat dari rendahnya kandungan bahan organik dalam tanah (Hairiah, *et al.*, 2000)

2. Al-dd

Konsentrasi Al-dd pada masing-masing sub-pot perlakuan memiliki nilai yang berbeda (Gambar 20). Pemberian Al dan Amelioran pada sub-pot 2 memberikan pengaruh yang sangat nyata ($p < 0,001$) terhadap konsentrasi Al-dd. Pada perlakuan Al 100 dan 200 μM konsentrasi Al-dd dalam sub-pot 1 dan sub-pot 2 (tanah kontrol) hampir setara, sedangkan pada Al 400 μM konsentrasi Al-dd lebih tinggi dibandingkan dengan tanah kontrol. Selain itu, pemberian amelioran 0,5 dan 1,0 kali dosis lapangan mampu menurunkan konsentrasi Al-dd dibandingkan dengan tanah kontrol pada sub-pot 2 (tanah kontrol), sedangkan pada amelioran 1,5 kali dosis lapangan kadar Al-dd meningkat dibandingkan dengan tanah kontrol.

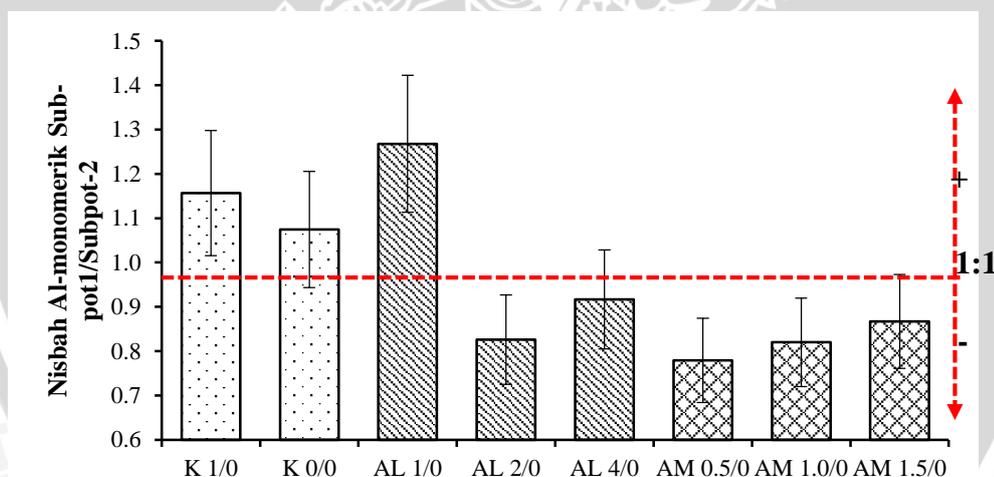


Gambar 20. Nisbah Al-dd(-perlakuan)/Al-dd(+perlakuan) pada masing-masing sub-pot perlakuan

Karena rendahnya kandungan H^+ didalam tanah, ketersediaan sebagian besar logam beracun (termasuk Al didalamnya) meningkat seiring dengan menurunnya pH tanah (Corley dan Tinker, 2003). Menurut Rout *et al.* (2001) tingginya konsentrasi Al didalam tanah menyebabkan terganggunya proses penyerapan unsur hara lainnya seperti Ca, Mg, dan P.

3. Al-Monomerik

Selain Al-dd, adapun bentuk Al yang beracun bagi tanaman yang menjadi salah satu parameter pengukuran. Pengujian analisis ragam menunjukkan bahwa pemberian Al dan amelioran memberikan pengaruh yang cenderung berbeda nyata ($0,10 > p > 0,05$). Hasil percobaan yang telah dilakukan diketahui bahwa pemberian Al $100\mu M$ meningkatkan konsentrasi Al-monomerik dibandingkan dengan sub-pot 2 (tanah kontrol). Berbanding terbalik dengan Al $100\mu M$, pemberian Al $200\mu M$, $400\mu M$, dan pemberian amelioran menurunkan konsentrasi Al-monomerik dibandingkan dengan sub-pot 2.

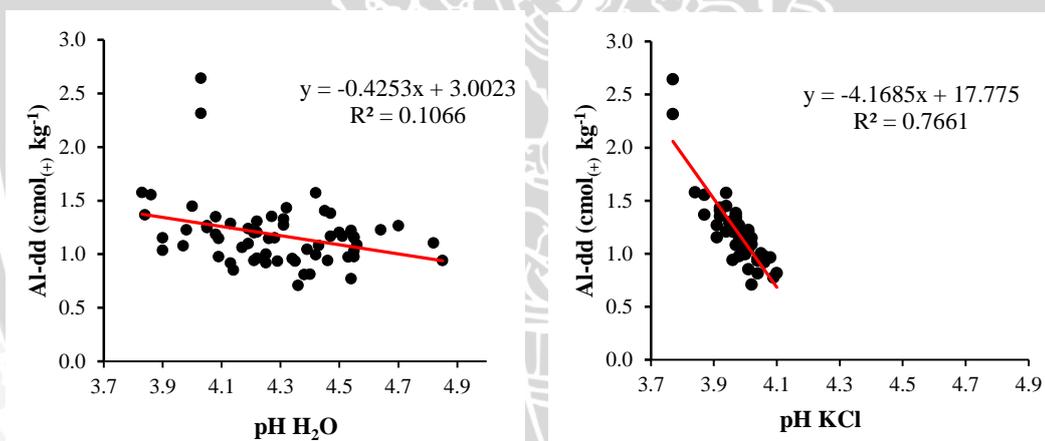


Gambar 21. Nisbah Al-monomerik(-perlakuan)/Al-monomerik(+perlakuan) pada masing-masing sub-pot perlakuan

Pada tanah masam umumnya ketersediaan hara sangat terbatas, selain itu 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, $Al(OH)^{2+}$ dan $Al(OH)^{2+}$ (Marschner, 1995; Kochian, 1995). Penambahan kapur kedalam tanah dengan dosis yang tepat mampu meningkatkan pH tanah sehingga mampu menurunkan kelarutan beberapa unsur seperti Al, Fe, dan Mn (Tisdale *et al.*, 1985).

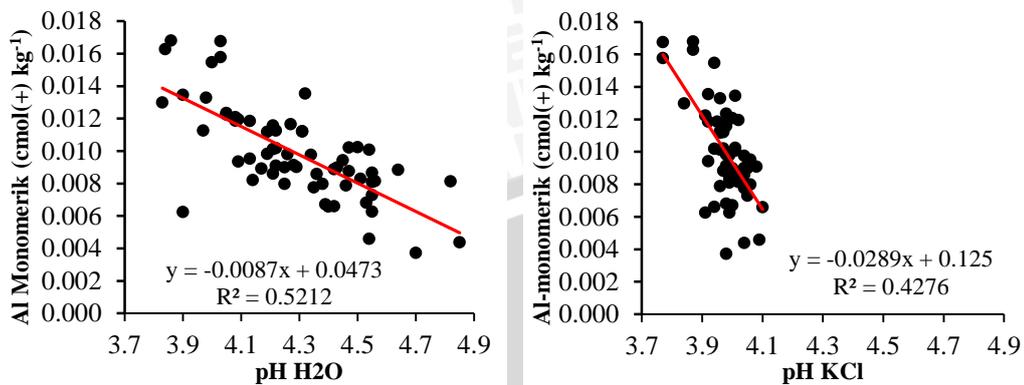
4.4 Hubungan pH Tanah dengan Konsentrasi Aluminium didalam Tanah

Perubahan konsentrasi Al-dd dalam tanah adalah berhubungan erat dan nyata dengan pH tanah (Gambar 22), terutama dengan pH-KCl ($r = -0,875$). Adanya peningkatan 1 pH KCl tanah mengakibatkan turunnya konsentrasi Al-dd sebesar $4,1685 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$. Menurut Wahyudi (2009), dengan adanya peningkatan pH akan berbanding terbalik dengan konsentrasi Al-dd didalam tanah. Menurut Syekhfani (2012a) ion aluminium (Al^{3+}) dan besi (Fe^{3+}) membuat tanah-tanah menjadi masam karena kedua ion mampu menghidrolisis air. Ion OH^- dari hidrolisis diikat menjadi aluminium atau besi hidroksida, sedang ion H^+ bebas menyebabkan pH tanah turun. Mekanismenya sebagai berikut: $\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ dan $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$. Pada tanah masam, perkembangan sistem perakaran tanaman sering kali dihambat oleh tingginya konsentrasi aluminium (Al) (Hairiah, 1992).



Gambar 22. Hubungan pH H₂O dan pH KCl dengan konsentrasi Al-dd dalam tanah

Hasil yang sama juga diperoleh dengan penurunan konsentrasi Al-monomerik didalam tanah seiring dengan meningkatnya pH tanah (Gambar 23) baik dengan pH-H₂O ($r = -0,723$) dan pH-KCl ($r = -0,654$). Setiap kenaikan 1 pH H₂O menurunkan konsentrasi Al-monomerik sebesar $0,0087 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ sedangkan setiap kenaikan 1 pH KCl menurunkan konsentrasi Al-monomerik sebesar $0,0289 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$.

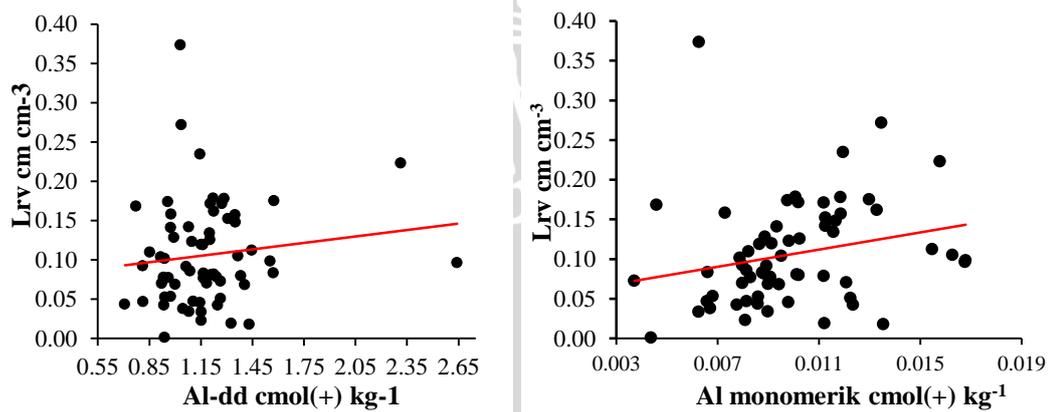


Gambar 23. Hubungan antara pH H₂O dan pH KCl dengan konsentrasi Al-monomerik

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 phytotoxic paling banyak adalah Al³⁺.

4.5 Hubungan Aluminium dengan Total Panjang Akar (Lrv)

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh Al-monomerik didalam tanah terhadap total panjang akar (Lrv), dilakukan pengujian korelasi dan regresi. Diperoleh hasil bahwa terdapat hubungan korelasi lemah antara Al-dd ($r = 0,127$) dan Al-monomerik ($r = 0,237$) dengan Lrv (Gambar 24).



Gambar 24. Hubungan korelasi antara Al-dd dan Al-monomerik dengan total panjang akar (Lrv)

Berdasarkan hasil uji korelasi antara Lrv dengan konsentrasi Al-dd dan Al-monomerik yang lemah, hal ini menunjukkan bahwa akar kelapa sawit masih mampu bertahan pada konsentrasi Al-monomerik yang cukup tinggi dengan

konsentrasi sekitar 0,008 sampai 0,010 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$ tanah atau setara dengan 80 sampai 100 μM . Berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh Cristancho *et al.* (2011) diperoleh hasil bahwa perlakuan Al dengan konsentrasi 200 μM mulai menghambat pertumbuhan akar kelapa sawit dengan mereduksi 57,5% berat kering akar dan total panjang akar dibandingkan dengan perlakuan kontrol.

Menurut Hairiah *et al.* (2001) Al dapat berpengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap perkembangan sistem perakaran tanaman. Pengaruh langsung Al adalah melalui penghambatan pembelahan sel pada ujung-ujung akar (Foy, 1985 dalam Hairiah *et al.*, 2001), sehingga fungsi akar dalam menyerap air dan hara menjadi terganggu.

Menurut Proklamasiningsih *et al.* (2012) Pemberian Al pada tanah mengakibatkan peningkatan diameter akar. Hal tersebut menandakan bahwa toksisitas Al menyebabkan peningkatan diameter akar. Mossor-Pietraszewska (2001) dalam Proklamasiningsih *et al.* (2012), yang 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. Menurut Purnamaningsih dan Mariska (2008) pada umumnya tanaman memperoleh sifat toleransi terhadap Al dengan menghalangi masuknya Al pada daerah-daerah sensitif seperti sitoplasma, plasma membran, dan ujung akar. Peningkatan pH di daerah perakaran (rhizosfer) merupakan salah satu mekanisme akar untuk menghindari dari toksisitas Al.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pengaruh penambahan $AlCl_3$ kedalam tanah beragam terhadap pertumbuhan total panjang akar (Lrv). Pada dosis pemberian 100-200 μM Al meningkatkan Lrv akar kelapa sawit, sedangkan pemberian Al dengan 2x dosis lebih tinggi (400 μM) akar menghindarinya dan tumbuh lebih banyak di tanah yang tidak diberi Al.

Penambahan amelioran campuran kapur pertanian (kaptan) dengan dosis 1,5 kali dosis lapangan dan kompos, merupakan dosis terbaik dalam memperbaiki pertumbuhan akar pada tanah masam. Penambahan amelioran mampu meningkatkan pH tanah dan menurunkan konsentrasi Al-dd dan Al-monomerik didalam tanah.

5.2 Saran

Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai pengaruh pemberian amelioran yang merupakan campuran kapur pertanian dan kompos terhadap kadar Al di lapangan dengan kondisi yang lebih heterogen dan dikorelasikan dengan produksi kelapa sawit di lapangan agar diperoleh hasil yang lebih aplikatif dengan menghubungkan antara percobaan homogen dan heterogen (baik percobaan pot terbelah maupun percobaan lapangan).

DAFTAR PUSTAKA

- Blamey, F.P.C., D.G. Edwards, and C.J. Asher. 1983. Effects of Aluminium, OH:Al and P:Al Molar Ratios, and Ionic Strength on Soybean Root Elongation Insolution Culture. *J. Soil Sci.* 136: 197-207.
- Bray, R.H., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of Total Organik and Available Forms of Phosphorus in Soils. *J. Soil Sci.* 59: 39 - 45.
- Brouwer, R. 1983. Functional Equilibrium: Sense or Nonsense? *Neth. J. Agric. Sci.* (31):335-348.
- Corley, R.H.V., and P.B Tinker. 2003. *The Oil Palm*. Fourth Edition. Blacwell Science Ltd. USA. p. 36, 384.
- Cristancho, R.J., M.M Hanafi., S.R Omar, and M.Y Rafii. 2010. Variation in Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Progeny Response to High Aluminium Concentrations in Solution Culture. *In abstract of J. Plant Biol. (Stuttg)*. Mar. 2011;1 3(2):333-42. PubMed, NCBI.
- Farida, N. 2015. Detosifikasi Aluminium Monomerik Melalui Penambahan Amelioran di Perkebunan Sawit. Skripsi. Universitas Brawijaya, Malang.
- Firmansyah, A. 2010. Respon Tanaman Terhadap Aluminium. *J. Agripura* (6):807-817.
- Foy, C.D. 1974. Effect of Aluminium on Plant Growth. In: E.W. Carson (ed.) *The Plant Root and Its Environment*. Charlottesville, University Press Virginia. P 601-642.
- Foy, C.D. 1988. Plant Adaptation to Acid, Aluminium-toxic Soils. *Common Soil Sci. Plant Anal* (19):959-987.
- Hairiah, K. 1992. Aluminium Tolerance of *Mucuna*. A Tropical Leguminous Cover Crop. Doctoral Thesis, RUG, Netherland. p 152. (ISBN 90-9005501-0).
- Hairiah, K., M. Van Noordwijk, and S. Setijono. 1993. Tolerance to Acid Soil Conditions of the Velvet Beans *Mucuna pruriens* var. utilis and *M. deeringiana*. *J. Plant and Soil* 152: 175-185.
- Hairiah, K., M. Van Noordwijk, and I. Stulen. 1991. Determination of Inorganik Aluminium with the 60 S Pyrocatechol Violet Technique. *Institut Voor Bodemvruch Baarheid*. Oosterweg.
- Hairiah, K., C. Sugiarto., S.R. Utami., P. Purnomosidhi, dan J.M. Roshetko. 2001. Diagnosis Faktor Penghambat Pertumbuhan Akar Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) pada Ultisol di Lampung Utara. 89-98.
- Hairiah, K., D. Suprayogo, dan Widiyanto. 2015. Penggemburan Tanah Lapisan Bawah Secara Biologi: Pemanfaatan Residu Sawit, Penanaman LCC, dan Rumput untuk Menstimulasi Pertumbuhan Akar Sawit. Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.
- 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. SMT Grafika Desa Putera. Jakarta.
- Jourdan, C., and H. Rey. 1997. Architecture and Development of the Oil Palm Root System. *Pl. Soil*, 189:33-48. *dalam* Corley, R.H.V., Tinker, P.B. 2003. *The Oil Palm* (Fourth Edition). Blacwell Science Ltd, USA.
- Kamprath, E.J. 1970. Exchangable Aluminium as a Criterion for Liming Leachmineral Soils. *Soil SCI. Am. Proc.*
- Kerven G.L., D.G. Edward., C.J. Asher., P.S. Hallman, and S. kokot. 1989. Aluminium Determination in Soil Solution. II. Short-Term Colorimetric Procedures for Measurement of Inorganik Monomerik Aluminium in the Presence of Organik Acid Ligands. *Austr. J. Soil Res.* 27:91-102.
- Kochian, L.V. 1995. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annu.Rev. Plant physiol. Plant Mol. Biol.* 46: 237-260.
- Lehmann, J. 2003. Subsoil Root Activity in Tree-based Cropping System. *J. Plant and Soil* 255:319-331.
- Lubis, E.R., dan W. Agus. 2011. *Buku Pintar Kelapa Sawit*. AgroMedia.
- Makarim, KA. Tanpa Tahun. Cekaman Abiotik Utama dalam Peningkatan Produktivitas Tanaman. Seminar Nasional Pemanfaatan Bioteknologi untuk Mengatasi Cekaman Abiotik pada Tanaman.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second edition. Acad Press. 889 p.
- Mossor-Pietraszewska, T. 2001. Effect of aluminium on plant growth and metabolism. *Acta Biochim.* (48):673-686. *dalam* Proklamasiningsih, E., Prijambada I.D., Rachmawati D., dan Sancayaningsih R.P. 2012. Pengaruh Pemberian Garam Aluminium Terhadap Serapan Al dan Pertumbuhan Akar Kedelai pada Media Tanah Masam. *J. Ilmu Hayati dan Fisik.* (14):107-114.
- Nasution, RA. 2014. *Tinjauan Pustaka, Chapter II: Tanah Sawah*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara.
- Nurwinda, Y.D. 2015. *Diagnosis Penghambat Pertumbuhan Akar Kelapa Sawit pada Lapisan Bawah Ultisols*. Skripsi. Universitas Brawijaya, Malang.
- Oktovani, C.D. 2012. *Studi Perakaran Kelapa Sawit diberbagai Zona Tumpukan BO pada Tanah Lom Berklei dan Lom Berpasir*. Skripsi. Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.
- 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. Universitas Brawijaya, Malang.
- Prasetyo, B.H., dan D.A Suriadikarta. 2006. *Karakteristik, Potensi, dan Teknologi Pengelolaan Tanah Ultisols untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia*. *J. Litbang Pertanian*, 25(2).
- Proklamasiningsih, E., I.D. Prijambada., D. Rachmawati, dan R.P. Sancayaningsih. 2012. *Pengaruh Pemberian Garam Aluminium Terhadap Serapan Al dan*

- Pertumbuhan Akar Kedelai pada Media Tanah Masam. *J. Ilmu Hayati dan Fisik*. (14):107-114.
- Purnamaningsih, R., dan M. Ika. 2008. Pengujian Nomor-nomor Harapan Padi Tahan Al dan pH Rendah Hasil Seleksi *In Vitro* dengan Kultur Hara. *J. AgroBiogen*. 4(1):18-23.
- Rahmawati, E.A. 2016. Toleransi Akar Bibit Kelapa Sawit Terhadap Keracunan Aluminium dalam Kondisi Homogen. Skripsi. Universitas Brawijaya, Malang.
- Rout, G.R., B. Samantaray, and P. Das. 2001. Aluminium Toxicity in Plants: a Review. *J. Agronomie* (21):3-21.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Spehar, C.R., and L.A.C. Souza. 2006. Selection for Aluminium Tolerance in Tropical Soybean. *Pesqui. Agropecu. Trop.* 36:1-6. dalam Proklamasiningsih, E., Prijambada I.D., Rachmawati D., dan Sancayaningsih R.P. 2012. Pengaruh Pemberian Garam Aluminium Terhadap Serapan Al dan Pertumbuhan Akar Kedelai pada Media Tanah Masam. *Jurnal Ilmu Hayati dan Fisik*. (14):107-114.
- Subandriya, M. 2012. Laju Dekomposisi Berbagai Biomassa Kelapa Sawit pada Tanah Lom Berklei dan Lom Berpasir. Skripsi. Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.
- Sutarta, ES., dan Winarna. 2009. Pengaruh Dosis Logam Berat terhadap Pertumbuhan dan Serapan Hara Bibit Kelapa Sawit. *J. Penelitian Kelapa Sawit*. 17(1):1-9.
- Syekhfani. 2012^a. 2 Modul Kestan (2012). Univ. Brawijaya. Soil Science Guide-lines. (Available on-line with updates at <http://syekhfanimd.lecture.ub.ac.id/files/2012/11/2.-MODUL-KESTAN.-20125.pdf>.) (Verified 25 Jul. 2016).
- Syekhfani. 2012^b. BAB I: Dasar-dasar Kesuburan Tanah. Univ. Brawijaya. Soil Science Guide-lines. (Available on-line with updates at <http://syekhfanimd.lecture.ub.ac.id/files/2012/11/KONSEP-HHTAT-ED-3.pdf>.) (Verified 24 Jul. 2016).
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*. Mc. Millan, New York. P. 754.
- Van Noordwijk, M., L. Albert., P. Sylvain., E. Christof., A.B. Glyn., C. Siebe, and V.D. Geijn. 2000. *Root Methods A Handbook*. New York. Springer. Verlag Berlin Heidelberg. 113-140.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN



LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisa ragam total panjang akar (Lrv)

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F 5%
Perlakuan	7	0.029436	0.004205	0.98	0.459
Sub-pot	1	0.005472	0.005472	1.27	0.265
Perlakuan.Sub-pot	7	0.020772	0.002967	0.69	0.680
Contrast 1	1	0.746	0.746	3.23	0.087^*
Contrast 2	1	0.34	0.34	1.47	0.239
Contrast 3	1	0.1154	0.1154	0.50	0.488
Contrast 4	1	0.0035	0.0035	0.02	0.904
Contrast 5	1	0.2747	0.2747	1.19	0.288

Keterangan: Contrast 1: A11/0 vs K1/0, Contrast 2: A11/0 vs K0/0, Contrast 3: Am1,5/0 vs K1/0, Contrast 4: Am1,5/0 vs K0/0, Contrast 5: Am1,5/0 vs A11/0

Lampiran 2. Rata-rata total panjang akar (Lrv)

Perlakuan	Total Panjang Akar (Lrv) cm cm ⁻³	
	Sub-pot 1	Sub-pot 2
K 1/0	0.1188	0.1053
K 0/0	0.0359	0.1179
A1 1/0	0.1495	0.1096
A1 2/0	0.0858	0.0945
A1 4/0	0.0855	0.1110
Am 0,5/0	0.1184	0.1701
Am 1,0/0	0.0937	0.1286
Am 1,5/0	0.0859	0.0844

Lampiran 3. Analisa ragam total berat kering akar (Drv)

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F 5%
Perlakuan	7	3.9E-08	5.5E-09	0.81	0.580
Sub-pot	1	3.2E-09	3.2E-09	0.47	0.496
Perlakuan.Sub-pot	7	2.1E-08	3.0E-09	0.45	0.866
Contrast 1	1	2.3E-08	2.3E-08	3.42	0.071^*
Contrast 2	1	1.1E-08	1.1E-08	1.66	0.204
Contrast 3	1	2.4E-09	2.4E-09	0.35	0.557
Contrast 4	1	5.6E-12	5.6E-12	0.00	0.977
Contrast 5	1	1.1E-08	1.1E-08	1.59	0.214

Keterangan: Contrast 1: A11/0 vs K1/0, Contrast 2: A11/0 vs K0/0, Contrast 3: Am1,5/0 vs K1/0, Contrast 4: Am1,5/0 vs K0/0, Contrast 5: Am1,5/0 vs A11/0

Lampiran 4. Rata-rata total berat kering akar (Drv)

Perlakuan	Total Berat Kering Akar (Drv) g cm ⁻³	
	Sub-pot 1	Sub-pot 2
K 1/0	0.000085	0.000120
K 0/0	0.000031	0.000128
Al 1/0	0.000159	0.000152
Al 2/0	0.000087	0.000101
Al 4/0	0.000155	0.000137
Am 0,5/0	0.000125	0.000100
Am 1,0/0	0.000098	0.000097
Am 1,5/0	0.000095	0.000113

Lampiran 5. Tabel nisbah Lrv, Drv, dan *specrol* antar sub-pot

Perlakuan	Rasio LRV	Rasio DRV	Rasio Specrol
K 1/0	1.0960	0.8661	1.8005
K 0/0	0.8735	3.5782	0.8310
AL 1/0	1.5082	1.0590	1.5372
AL 2/0	1.0765	1.1383	1.1384
AL 4/0	0.7878	0.9694	1.1365
AM 0.5/0	0.7655	1.3309	0.7406
AM 1.0/0	1.0091	1.1224	0.9344
AM 1.5/0	1.1377	1.0614	1.1195

Keterangan: Contrast 1: Al1/0 vs K1/0, Contrast 2: Al1/0 vs K0/0, Contrast 3: Am1,5/0 vs K1/0, Contrast 4: Am1,5/0 vs K0/0, Contrast 5: Am1,5/0 vs Al1/0

Lampiran 6. Persen kenaikan vegetatif tanaman kelapa sawit

Diameter bonggol (%)					Panjang pelepah (%)				
Perlakuan	-Minggu Setelah Tanam				Perlakuan	-Minggu Setelah Tanam			
	2	4	6	8		2	4	6	8
K 1/0	14.4	25.6	40.5	56.9	K 1/0	0.3	10.9	13.4	25.2
K 0/0	5.1	12.5	25	31.9	K 0/0	8	5.1	15.3	20.8
AL 1/0	3.9	13.9	34.6	49.8	AL 1/0	9.2	25	30	48.9
AL 2/0	10.6	18.8	48.7	70.4	AL 2/0	15.4	19.3	25.9	45.4
AL 4/0	11.1	21.7	43	47.1	AL 4/0	14.4	18.5	20.8	25
AM 0.5/0	13.4	26.1	48.1	71.1	AM 0.5/0	13.4	18.9	21.1	37
AM 1.0/0	13.9	24.5	44.9	61.2	AM 1.0/0	24.7	28.8	41.4	55.6
AM 1.5/0	18.9	31	50.6	70.2	AM 1.5/0	15.2	25.2	29.5	45.8

Jumlah pelepah (%)					Tinggi tanaman (%)				
Perlakuan	-Minggu Setelah Tanam				Perlakuan	-Minggu Setelah Tanam			
	2	4	6	8		2	4	6	8
K 1/0	5.6	14.2	22.6	43.1	K 1/0	2.54	7.67	11.69	26.59
K 0/0	1.1	10.5	18.9	35.5	K 0/0	-4.53	-3.28	-0.58	8.41
AL 1/0	10.7	18.1	23	37.1	AL 1/0	4.28	10.26	16.64	32.28
AL 2/0	12.5	24.5	34.3	53.4	AL 2/0	1.87	7.31	14.19	33.74
AL 4/0	3.1	10.6	21.6	26.8	AL 4/0	0.49	2.19	6.47	18.98
AM 0.5/0	19.8	29.3	29.1	45.9	AM 0.5/0	0.17	6.17	10.78	25.62
AM 1.0/0	0.5	5.3	12.6	28.2	AM 1.0/0	5.44	11.9	17.81	34.26
AM 1.5/0	7.8	16.1	24.2	40.8	AM 1.5/0	0.38	5.18	11.67	26.97

Lampiran 7. Karakteristik kimia tanah setelah perlakuan

Perlakuan	Penambahan Al /Am	pH H ₂ O	pH KCl	P tersedia mg kg ⁻¹	Ca	Mg	K	Al-dd cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	Al monomerik
K 1/0	-	4.30	3.87	70.00	0.518	0.735	0.795	1.949	0.01071
K 1/0	-	4.15	3.90	16.13	0.148	0.485	0.195	1.480	0.01235
K 0/0	-	4.61	4.00	14.06	0.125	0.290	0.185	1.092	0.00701
K 0/0	-	4.40	3.95	15.46	0.150	0.332	0.132	1.181	0.00855
AL 1/0	+	4.17	3.96	12.51	0.125	0.377	0.087	1.157	0.01055
AL 1/0	-	4.34	4.04	10.12	0.080	0.270	0.067	1.021	0.00912
AL 2/0	+	4.21	3.96	12.63	0.080	0.285	0.082	1.211	0.01080
AL 2/0	-	4.23	4.02	12.28	0.093	0.307	0.092	1.144	0.01005
AL 4/0	+	4.26	3.97	24.32	0.088	0.287	0.122	0.956	0.01018
AL 4/0	-	4.35	4.01	20.03	0.078	0.260	0.092	0.976	0.00803
AM 0.5/0	+	4.30	3.97	13.31	0.183	0.535	0.217	1.217	0.01040
AM 0.5/0	-	4.18	3.98	11.24	0.130	0.430	0.172	1.240	0.01259
AM 1.0/0	+	4.30	3.99	12.89	0.113	0.442	0.327	1.136	0.00935
AM 1.0/0	-	4.20	4.03	9.06	0.153	0.500	0.115	1.050	0.01020
AM 1.5/0	+	4.33	4.04	10.84	0.138	0.470	0.182	0.948	0.00800
AM 1.5/0	-	4.27	4.02	9.25	0.105	0.377	0.127	1.117	0.01027

Lampiran 8. Analisa ragam pH H₂O

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F 5%
Perlakuan	7	0.48637	0.06948	1.56	0.171
Sub-pot	1	0.03019	0.03019	0.68	0.414
Perlakuan.Sub-pot	7	0.22937	0.03277	0.74	0.642

Keterangan: Ftabel 5%; Ftabel<0,05=berbeda nyata, 0,10<Ftabel>0,05=cenderung berbeda nyata, Ftabel>0,10=tidak berbeda nyata

Lampiran 9. Rata-rata pH H₂O

Perlakuan	pH H ₂ O	
	Sub-pot 1	Sub-pot 2
K 1/0	4.29	4.15
K 0/0	4.61	4.40
Al 1/0	4.17	4.34
Al 2/0	4.20	4.23
Al 4/0	4.26	4.35
Am 0,5/0	4.29	4.18
Am 1,0/0	4.30	4.20
Am 1,5/0	4.32	4.27

Lampiran 10. Analisa ragam pH KCl

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F 5%
Perlakuan	7	0.107294	0.015328	6.31	<.001**
Sub-pot	1	0.009025	0.009025	3.72	0.06
Perlakuan.Sub-pot	7	0.024875	0.003554	1.46	0.205

Keterangan: Ftabel 5%; Ftabel<0,05=berbeda nyata, 0,10<Ftabel>0,05=cenderung berbeda nyata, Ftabel>0,10=tidak berbeda nyata

Lampiran 11. Rata-rata pH KCl

Perlakuan	pH KCl	
	Sub-pot 1	Sub-pot 2
K 1/0	3.86	3.90
K 0/0	4.00	3.95
Al 1/0	3.96	4.04
Al 2/0	3.95	4.01
Al 4/0	3.97	4.00
Am 0,5/0	3.97	3.98
Am 1,0/0	3.99	4.02
Am 1,5/0	4.04	4.02

Lampiran 12. Analisa ragam Al-dd

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F 5%
Perlakuan	7	2.98487	0.42641	9.17	<.001**
Sub-pot	1	0.05215	0.05215	1.12	0.295
Perlakuan.Sub-pot	7	0.52278	0.07468	1.61	0.158

Keterangan: Ftabel 5%; Ftabel<0,05=berbeda nyata, 0,10<Ftabel>0,05=cenderung berbeda nyata, Ftabel>0,10=tidak berbeda nyata

Lampiran 13. Rata-rata Al-dd

Perlakuan	Al-dd cmol(+) kg ⁻¹	
	Sub-pot 1	Sub-pot 2
K 1/0	1.949	1.480
K 0/0	1.092	1.181
Al 1/0	1.157	1.021
Al 2/0	1.211	1.144
Al 4/0	0.956	0.976
Am 0,5/0	1.217	1.240
Am 1,0/0	1.136	1.050
Am 1,5/0	0.948	1.117

Lampiran 14. Analisa ragam Al-monomerik

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F 5%
Perlakuan	7	8.99E-05	1.28E-05	1.99	0.077^*
Sub-pot	1	4.37E-06	4.37E-06	0.68	0.415
Perlakuan.Sub-pot	7	4.15E-05	5.93E-06	0.92	0.501

Keterangan: Ftabel 5%; Ftabel<0,05=berbeda nyata, 0,10<Ftabel>0,05=cenderung berbeda nyata, Ftabel>0,10=tidak berbeda nyata

Lampiran 15. Rata-rata Al-monomerik

Perlakuan	Al-monomerik cmol(+) kg ⁻¹	
	Sub-pot 1	Sub-pot 2
K 1/0	0.01071	0.01235
K 0/0	0.00701	0.00855
Al 1/0	0.01055	0.00912
Al 2/0	0.01080	0.01005
Al 4/0	0.01018	0.00803
Am 0,5/0	0.01040	0.01259
Am 1,0/0	0.00935	0.01020
Am 1,5/0	0.00800	0.01027



Lampiran 16. Perhitungan dasar pembuatan larutan Al

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

$$1 \text{ M} = 10^6 \mu\text{M}$$

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

Keterangan:

Mr : Massa Relatif

$$\text{Mr AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 241,43$$

V : volume

g : Massa AlCl₃

16a. Larutan Al 100 μM (volume 40 liter H₂O)

$$100 \mu\text{M} = \frac{g}{241,43} \times \frac{1000}{4000} \times \frac{1}{10^6}$$

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

$$\text{Massa AlCl}_3 = 241,43 \times 40 \times (10^{-6} \times 100)$$

$$\text{Massa AlCl}_3 = 0,9657 \text{ g/40liter}$$

16b. Larutan Al 200 μM (volume 40 liter H₂O)

$$200 \mu\text{M} = \frac{g}{241,43} \times \frac{1000}{4000} \times \frac{1}{10^6}$$

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

$$\text{Massa AlCl}_3 = 241,43 \times 40 \times (10^{-6} \times 200)$$

$$\text{Massa AlCl}_3 = 1,9314 \text{ g/40liter}$$

16c. Larutan Al 400 μM (volume 40 liter H₂O)

$$400 \mu\text{M} = \frac{g}{241,43} \times \frac{1000}{4000} \times \frac{1}{10^6}$$

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

$$\text{Massa AlCl}_3 = 241,43 \times 40 \times (10^{-6} \times 400)$$

$$\text{Massa AlCl}_3 = 3,8629 \text{ g/40liter}$$

Lampiran 17. Perhitungan kebutuhan kaptan dan kompos

17a. Kebutuhan Kapur Pertanian

Dosis kapur pertanian = 5000 g/pokok (setara 0,68 Mg ha⁻¹)

Luas area per ha = 10000 m² terdapat 136 pokok,

Luas tanah per pokok = 73,5 m²

Kedalaman efektif tanah = 30 cm = 0,3 m

Berat Isi tanah = 1,2 g cm⁻³

Volume tanah per pokok = 73,5 m² × 0,3 m = 22,05m³ = 22.058.823,53 cm³

Massa tanah per pokok = 22.058.823,53 cm³ × 1,2 g cm³ = 26.470.588,24 g

Berat tanah per sub-pot

Volume tanah per sub-pot= 23 × 31 × 15 = 10.695 cm³

Massa tanah per sub-pot= 10.695 cm³ × 1,2 g cm³ = 12.834 g = 12,8 kg (setara berat kering oven)

$$\frac{\text{dosis kapur per pokok}}{\text{massa tanah per pokok}} = \frac{\text{dosis kapur per sub - pot}}{\text{massa tanah per sub - pot}}$$

$$\frac{5000 \text{ g}}{26.470.588,24 \text{ g}} = \frac{x}{12.834 \text{ g}}$$

$$x = \frac{12.834 \text{ g} \times 5.000 \text{ g}}{26.470.588,24 \text{ g}}$$

Kebutuhan kapur 1,0 dosis per sub - pot = 2,42 g

Kebutuhan kapur 0,5 dosis per sub - pot = 1,21 g

Kebutuhan kapur 1,5 dosis per sub - pot = 3,63 g

Total kebutuhan kapur = (2,42 g × 4 ulangan) + (1,21 g × 4 ulangan) + (3,63 g × 4 ulangan) = 29,04 g

17b. Kebutuhan Kompos

Dosis kompos = 110.294 g/pokok (setara 15 Mg ha⁻¹)

Luas area per ha = 10000 m² terdapat 136 pokok,

Luas tanah per pokok = 73,5 m²

Kedalaman efektif tanah = 30 cm = 0,3 m

Berat Isi tanah = 1,2 g cm⁻³

Volume tanah per pokok = 73,5 m² × 0,3 m = 22,05m³ = 22.058.823,53 cm³

Massa tanah per pokok = $22.058.823,53 \text{ cm}^3 \times 1,2 \text{ g cm}^3 = 26.470.588,24 \text{ g}$

Berat tanah per sub-pot

Volume tanah per sub-pot = $23 \times 31 \times 15 = 10.695 \text{ cm}^3$

Massa tanah per sub-pot = $10.695 \text{ cm}^3 \times 1,2 \text{ g cm}^3 = 12.834 \text{ g} = 12,8 \text{ kg}$ (setara KO)

$$\frac{\text{dosis kompos per pokok}}{\text{massa tanah per pokok}} = \frac{\text{dosis kompos per sub - pot}}{\text{massa tanah per sub - pot}}$$

$$\frac{110.294 \text{ g}}{26.470.588,24 \text{ g}} = \frac{x}{12.834 \text{ g}}$$

$$x = \frac{12.834 \text{ g} \times 110.294 \text{ g}}{26.470.588,24 \text{ g}}$$

Kebutuhan kompos per sub - pot = 53,47 g

Total kebutuhan kompos = (53,47 g × 3 perlakuan × 4 ulangan = 641,64 g



Lampiran 18. Dokumentasi Penelitian



Gambar 1. Pengisian tanah kedalam polybag



Gambar 2. Pemindahan bibit dari pre-nursery ke main-nursery



Gambar 3. Kondisi lapangan



Gambar 4. Pengukuran vegetatif (Lebar daun)



Gambar 5. Pemanenan bibitan pada minggu ke-8



Gambar 6. Pencucian akar hasil panen bibitan



Gambar 7. Pemotongan akar untuk perhitungan total panjang akar

