

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

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

Eva Ayu Rahmawati¹⁾, Kurniatun Hairiah²⁾, Widiyanto²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang

²⁾Dosen Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang

Abstract

Root growth of oil palm in acid soils generally hindered in the sub-soil, it may decreasing the efficiency of water and nutrients use. One of the most commonly found is related to Al toxicity in the deeper layer. This research was an attempt to evaluate Al toxicity level on oil palm seedlings and to use mixture of lime and compost as ameliorant to increase root growth. The results showed that oil palm roots were tend to tolerant of Al toxicity, because applying Al until 400 μM were not inhibit root growth. Whereas applying mix of lime 1 x field dose and compost improving oil palm root length density (Lrv) up to 49% and root dry weight (Drv) 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} and Drv were $2,3 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$. Shoot:root ratio of oil palm seedlings from this experiment average was 10:1. The reduction of total root length density was not well correlated with the concentration of Al-monomeric, but it still showed that Lrv tend to be lowered when Al-monomeric concentration increased in the soil until 20 μM .

Abstrak

Pertumbuhan akar kelapa sawit di tanah masam umumnya terhambat di lapisan bawah, sehingga akan menurunkan efisiensi serapan air dan hara dari pupuk. Salah satu hal yang umum ditemukan adalah terkait pada keracunan Al pada lapisan bawah. Penelitian ini adalah percobaan untuk mengevaluasi tingkat keracunan Al pada bibit kelapa sawit dan menggunakan campuran kapur dan kompos sebagai pembenah tanah untuk meningkatkan pertumbuhan akar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa akar kelapa sawit cenderung toleran terhadap keracunan Al, karena pemberian Al hingga 400 μM tidak menghambat pertumbuhan akar. Sebaliknya pemberian campuran kapur 1 x dosis lapang dan kompos meningkatkan total panjang akar (Lrv) hingga 49% dan berat kering akar (Drv) hingga 72% dibandingkan dengan pemberian kapur tanpa kompos. Sedangkan peningkatan dosis kapur ditambah kompos tidak lagi dapat meningkatkan Lrv dan Drv. Rata-rata Lrv dari seluruh perlakuan adalah 0,14 cm cm^{-3} dan Drv $2,3 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$. Nisbah tajuk:akar bibit kelapa sawit dari percobaan ini rata-rata 10:1. Penurunan Lrv bibit sawit berhubungan lemah dengan konsentrasi Al-monomerik, walaupun masih ada kecenderungan penurunan total panjang akar seiring dengan meningkatnya konsentrasi Al-monomerik di dalam tanah hingga 20 μM .

Keywords: Al toxicity, Oil palm, Lime, Compost

Kata kunci: Keracunana Al, Kelapa Sawit, Kapur, Kompos

PENDAHULUAN

Pertumbuhan akar kelapa sawit di PT. Astra Agro Lestari, Tbk., Kumai, Pangkalan Bun, dilaporkan mengalami hambatan di tanah lapisan bawah. Sehingga diduga akan mengurangi efisiensi serapan air dan hara dari pupuk. Pertumbuhan akar kelapa sawit di tanah lapisan bawah diduga dibatasi oleh kepadatan tanah yang tinggi, jenuh air di lapisan bawah dan keracunan Al. 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).

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 *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+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$, $Al(SO_4)$.

Kondisi kimia tanah di Kumai umumnya bersifat masam dengan pH rata-rata 4,5 (Hairiah *et al.*, 2014). 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. Pengaruh langsung Al adalah melalui penghambatan pembelahan sel pada ujung-ujung akar (Foy, 1988), 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 (Hairiah *et al.*, 1992).

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. 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.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di lahan bibitan *Research Center* PT. Astra Agro Lestari, Tbk. mulai Januari hingga Mei 2015.

Bahan yang digunakan adalah tanah lapisan bawah (sub-soil) yang digunakan untuk percobaan diambil dari blok OA 29 AMR pada kedalaman 30-60 cm, bahan kimia Aluminium (Al) yang digunakan adalah $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ (100 μM , 200 μM , 300 μM dan 400 μM), amelioran Al yaitu kapur pertanian (Kaptan) dan Kompos dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) serta bibit sawit berumur ± 5 bulan (usia *main nursery*).

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 $AlCl_3$ dengan kadar sesuai perlakuan (volume pemberian larutan $AlCl_3$ hingga kapasitas lapang yaitu 1,5 liter $polybag^{-1}$), dicampur rata, dimasukkan ke dalam polybag dan diinkubasi selama satu minggu.

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 1). Kombinasi perlakuan disusun menurut Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 4 kali ulangan.

Tabel 1. 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 ameliorant Al			
No.	Perlakuan	Dosis (g)	Kode
6.	Kapur Pertanian (Kaptan) $\frac{1}{2}$ kali dosis lapang	1,113	KP 0,5
7.	Kapur Pertanian (Kaptan) 1 kali dosis lapang	2,225	KP 1
8.	Kapur Pertanian (Kaptan) 1,5 kali dosis lapang	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})

Percobaan ini dilakukan selama 8 minggu setelah aplikasi perlakuan. Parameter utama yang diamati antara lain: Berat kering tajuk, Total panjang akar (Lrv), Berat kering akar (Drv), Nisbah Lrv/Drv (*Specrol*). Sedangkan untuk analisis kimia tanah parameter utama yang diukur adalah pH (H_2O dan KCl), Al-dd dan Al-monomerik.

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 uji Duncan (DMRT) tingkat kepercayaan 5% untuk menguji perbedaan antar perlakuan.

Untuk mengetahui hubungan dan tingkat keeratan antara Al-monomerik dengan Lrv dilakukan uji korelasi dan uji regresi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

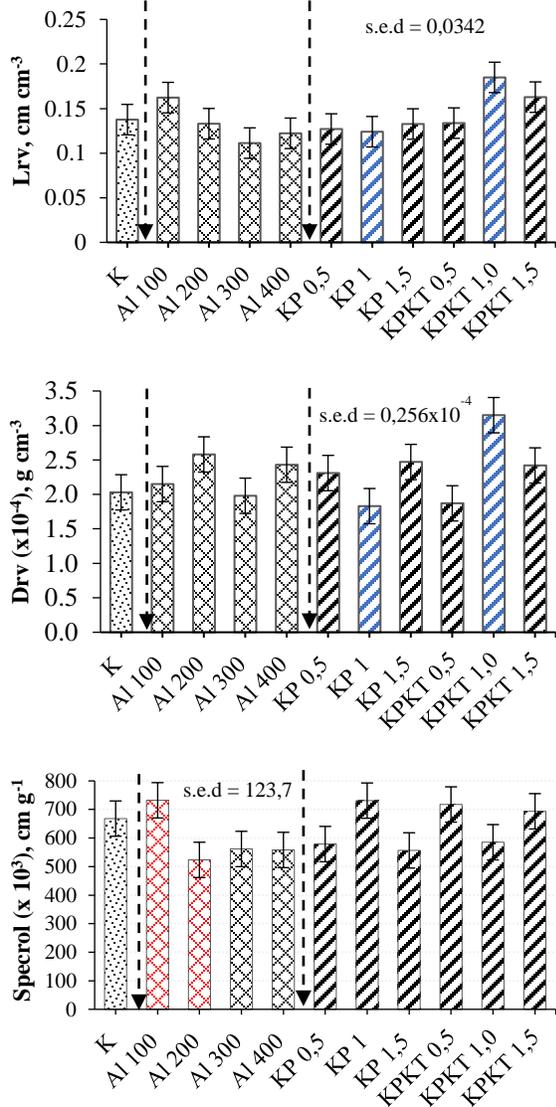
a) Lrv, Drv, *Specrol*

Konsentrasi Al yang tinggi dalam larutan tanah umumnya menghambat percabangan akar tanaman. Berdasarkan uji ANOVA yang dilakukan terhadap total panjang akar (Lrv) kelapa sawit menunjukkan bahwa penambahan Al dan Amelioran terhadap tanah bawah tidak berbeda nyata ($p > 0,05$) terhadap Lrv, Drv dan *Specrol* bibit sawit. Nampaknya, kelapa sawit cukup toleran terhadap Al. Rerata Lrv bibit sawit dari keseluruhan perlakuan adalah $0,14 \text{ cm cm}^{-3}$, rerata Drv seluruh perlakuan adalah $2,3 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ dan rerata *Specrol* seluruh perlakuan adalah $627,8 \text{ cm g}^{-1}$ (Gambar 1).

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

Perlakuan pemberian dosis $100 \mu\text{M}$ Al dan dosis $200 \mu\text{M}$ Al cenderung ($0,10 > p > 0,05$) berpengaruh nyata terhadap nisbah Lrv/Drv (*Specrol*). Pada pemberian dosis Al $100 \mu\text{M}$, *Specrol* meningkat 10% dibandingkan dengan Kontrol. Marschner (1995) mengemukakan bahwa pada konsentrasi yang cukup untuk tanaman, unsur Al memiliki peran dalam merangsang pertumbuhan tanaman. Sedangkan nilai *Specrol* pada perlakuan pemberian Al dosis $> 100 \mu\text{M}$ menurun rata-rata sebesar 18%. 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.

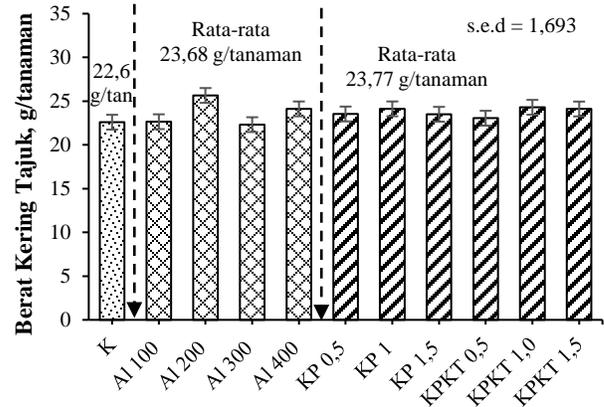


Gambar 1. Total panjang akar (Lrv), berat kering akar (Drv) dan *Specrol* seluruh perlakuan.

Keterangan: K = Kontrol; Al 100 = dosis 100 μ M Al, Al 200 = dosis 200 μ M Al, Al 300 = dosis 300 μ M Al, Al 400 = dosis 400 μ M 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.

b) 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 2).



Gambar 2. Rata-rata berat kering tajuk pada berbagai perlakuan.

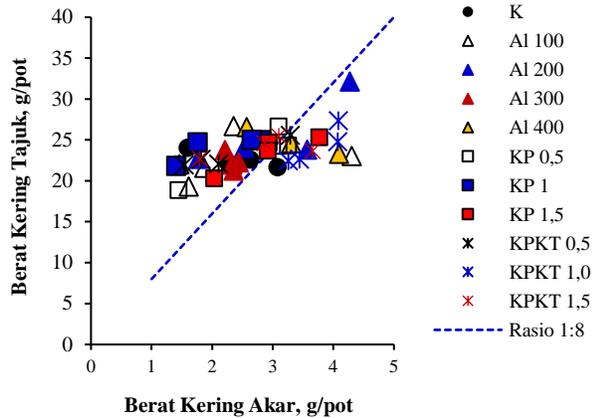
Keterangan: K = Kontrol; Al 100 = dosis 100 μ M Al, Al 200 = dosis 200 μ M Al, Al 300 = dosis 300 μ M Al, Al 400 = dosis 400 μ M Al; KP 0,5 = Kaptan 0,5 kali dosis, KP 1 = Kaptan 1 kali dosis, KP 1,5 = Kaptan 01,5 kali dosis; KPKT 0,5 = campuran Kaptan 0,5 kali dosis & Kompos Tankos, KPKT 1,0 = campuran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

c) 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 dan akar tanaman dilihat dari nisbah berat kering tajuk dan berat kering akar (Drv) pada masing-masing perlakuan. Jika hasil perhitungan nisbah tajuk:akar semakin tinggi, artinya 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:akar kelapa sawit pada kondisi aktual berkisar antara 7:1 di tanah berklei dan 3:1 di tanah berpasir, sedangkan dari hasil dari percobaan ini nisbah tajuk:akar rata-rata adalah 10:1 (Gambar 3).



Gambar 3. Hubungan berat kering akar dan berat kering tajuk pada berbagai perlakuan.

d) 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 2.

Tabel 2. Kondisi kimia tanah sebelum perlakuan

Tanah	pH		Al _{dd} ----- cmol (+) kg ⁻¹ -----	Al monomerik
	H ₂ O	KCl		
Sub Soil	4,63	4,04	1,11	0,0075

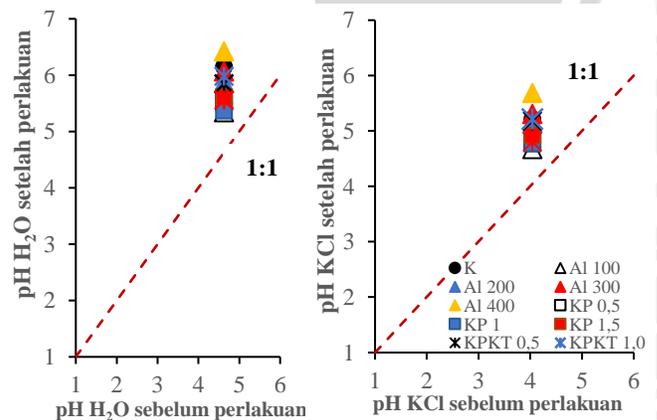
e) Kondisi Tanah Setelah Perlakuan

Pemberian Al berpengaruh sangat nyata (p<0,01) terhadap pH dan konsentrasi Al-monomerik dalam tanah. pH tertinggi diperoleh perlakuan penambahan Al dosis 400 µM dan konsentrasi Al-monomerik tertinggi diperoleh perlakuan penambahan Al dosis 100 µM. 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. Asam organik juga dapat berperan dalam penolakan Al melalui pelepasannya dari akar dan detoksifikasi Al dalam simplas. Selain itu asam organik dapat mengkelat Al serta mereduksi atau mencegah pengaruh racunnya pada tingkat seluler (Pellet et al., 1995).

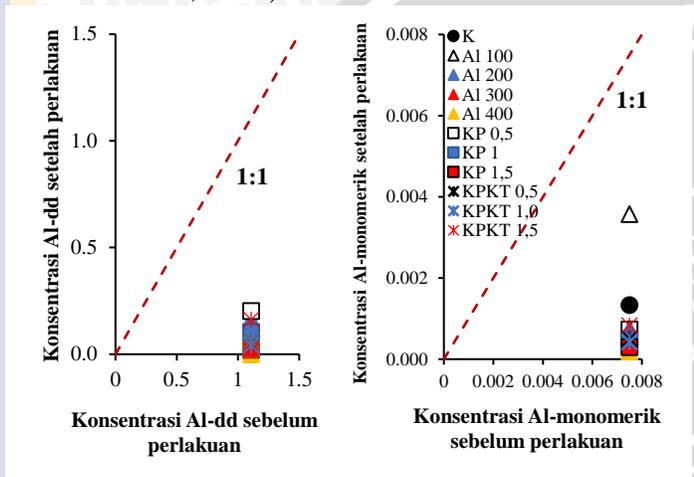
Felix & Donald (2002) melaporkan bahwa kemampuan pertumbuhan tanaman pada tanah dengan kandungan Al tinggi, adalah dengan menghasilkan eksudat akar (dalam bentuk anion-anion asam organik, gula, vitamin, asam amino, purin, nukleotida, ion-ion anorganik, dan sebagainya). Senyawa-senyawa ini membantu perakaran 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 (H₂O) maupun pH potensial (KCl) diketahui meningkat setelah aplikasi dibandingkan dengan sebelum aplikasi perlakuan (Gambar 4).



Gambar 4. Perbandingan pH sebelum dan setelah aplikasi perlakuan (Rasio 1:1).

Sedangkan konsentrasi Al-dd dan Al-monomerik diketahui menurun setelah aplikasi perlakuan (Gambar 5). 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).

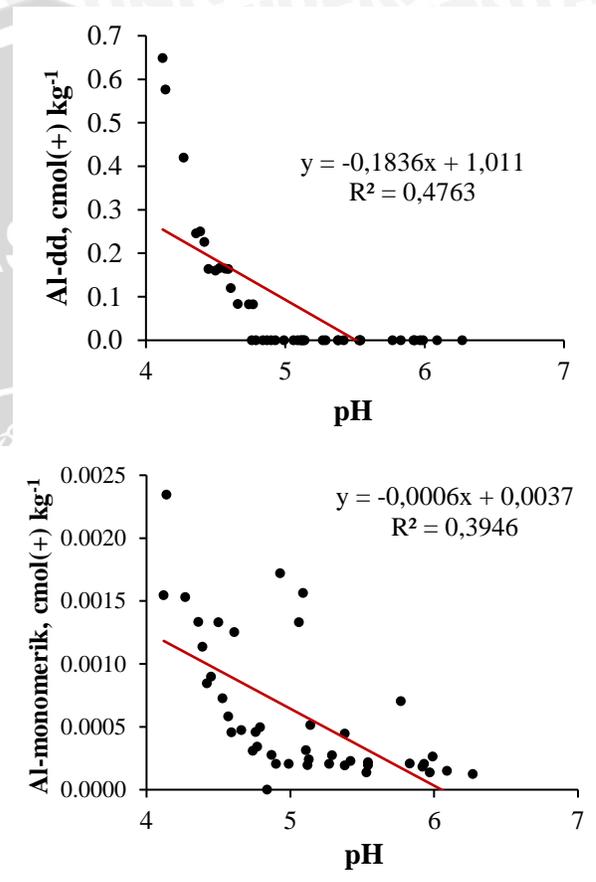


Gambar 5. Konsentrasi Al-dd (kiri) dan Al-monomerik (kanan) sebelum dan setelah aplikasi perlakuan (Rasio 1:1).

f) Hubungan pH Tanah dengan Konsentrasi Aluminium dalam Tanah

Perubahan konsentrasi Al-dd dalam tanah berkorelasi negatif yang erat ($r=-0,689$) dengan pH tanah. Hasil yang sama juga diperoleh pada hubungan pH dengan konsentrasi Al-monomerik menunjukkan korelasi negatif yang tidak erat pada pH ($r=-0,265$) (Gambar 6). Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi Al-dd dan Al-monomerik di dalam tanah seiring terjadinya kenaikan pH tanah. Pada tanah masam konsentrasi Al cukup tinggi ($pH < 4,7$) yang dapat menghambat pertumbuhan beberapa spesies. Seiring peningkatan kadar pH tanah, konsentrasi Al-dd semakin menurun (Salisbury dan Ross, 1995).

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+} .

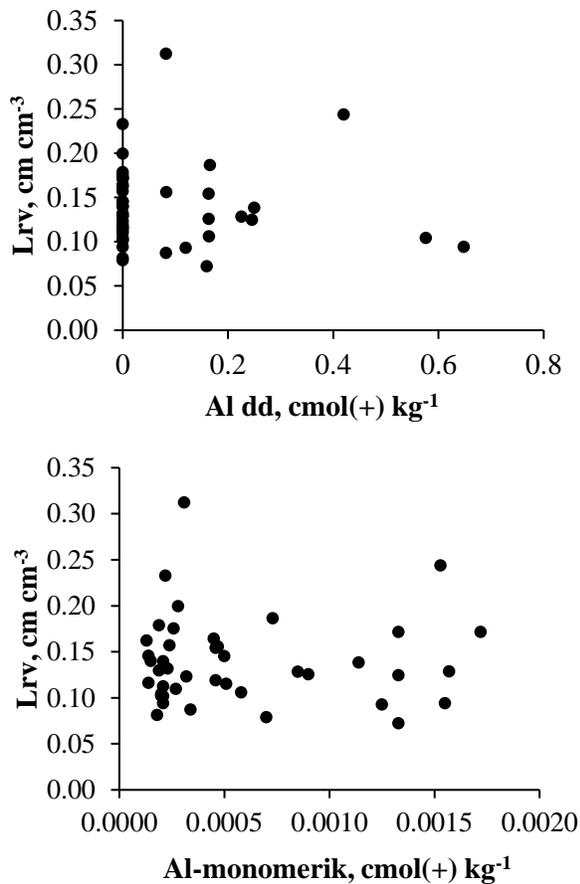


Gambar 6. Hubungan pH dengan Al-dd (atas) dan Al-monomerik (bawah)

g) Hubungan Konsentrasi Al dengan Total Panjang Akar (Lrv)

Hubungan antara total panjang akar (Lrv) dengan konsentrasi Al-dd berkorelasi negatif lemah, begitu pula konsentrasi Al-monomerik berkorelasi lemah dengan total panjang akar (Lrv). Namun masih menunjukkan bahwa terjadi penurunan total panjang akar seiring dengan meningkatnya konsentrasi Al-dd dan Al-monomerik di dalam tanah hingga konsentrasi 20 μM (Gambar 7).

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 46,5%, sedangkan berat kering tajuknya menurun 57,5% bila dibandingkan dengan dibandingkan dengan larutan tanpa Al.



Gambar 8. Hubungan antara total panjang akar dengan Al-dd (atas) dan Al-monomerik (bawah)

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

KESIMPULAN

1. Akar kelapa sawit cukup toleran terhadap Al, karena penambahan Al hingga 400 μM ke dalam tanah lapisan bawah tidak menghambat pertumbuhan akar; rata-rata total panjang akar bibit kelapa sawit (Lrv) = $0,14 \text{ cm cm}^{-3}$ dan berat kering akar (Drv) = $2,3 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$. 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.
3. Penurunan total panjang akar (Lrv) bibit sawit berhubungan lemah dengan konsentrasi Al-monomerik, walaupun masih ada kecenderungan penurunan total panjang akar seiring dengan meningkatnya konsentrasi Al-monomerik di dalam tanah

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Cristancho, R.J., Hanafi M.M., Omar S.R., Rafii M.Y. 2011. Variation in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) progeny response to high aluminium concentrations in solution culture.
- Farida, Nurul. 2015. Detoksifikasi Aluminium Monomerik Melalui Penambahan Amelioran di Perkebunan Sawit. Skripsi S-1. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- 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.
- 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.
- Hairiah, K. 1992. Aluminium tolerance of *Mucuna*. A tropical leguminous cover crop. Doctoral thesis, RUG, Netherland. 152 p. ISBN 90 - 9005501-0.
- Hairiah, K, Widiyanto, S.R. Utami, D. Suprayogo, Sunaryo, S.M. Sitompul, B. Lusiana, R. Mulia, Meine van Noordwijk dan G. Cadish. 2000. Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi: Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara. ICRAF. 311 h.
- Kochian, L. V., Hoekenga, O.A. & Pineros, M.A. 2004. How do crop plant tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and Phosphorous efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55: 459-493.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* Second edition. Acad Press. 889 p.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* Second edition. Acad Press. p. 889.
- 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.
- 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.
- 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 and C.W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan* Jilid 3. ITB-Press. Bandung.
- 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.

