



Pengaruh Berbagai Konsentrasi dan Lama Cekaman Aluminium terhadap Pertumbuhan Akar Kemampuan *Root re-growth* Stek Batang *Hydrangea macrophylla* pada Kultur Cair

Laily Milatuzzahroh, Saiful Ridlo, dan Yustinus Ulung Anggraito✉

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Diterima: 1 Maret 2019
Disetujui: 30 Maret 2019
Dipublikasikan: 25 April 2019

Keywords:

H. macrophylla, liquid culture, root growth, root re-growth.

Abstract

Hydrangea macrophylla is a hyperaccumulator plant. It can collect more than 3000 mg kg⁻¹ Al of dry weight in the leaves. The purpose of this study was to determine the effect of various Al concentrations, the period of Al stress, and the interaction between these two factors on liquid culture on root growth and the ability of root re-growth of *H. macrophylla* stem cuttings. The study was conducted in November 2016 until April 2017, using a Completely Randomized Design (RAL) of two factors. They are the Al concentration (0; 200; 400 μM) and the duration of Al stress (1; 2; 4 days). The results of the observations were analyzed by two-way ANOVA at the 5% level, and the treatment that showed a real effect, it followed by Duncan test. The Anova results indicate that the stress combination with stress duration of Al does not affect the parameters of the roots number, but the interaction of both influences the increase of root length. The RRG test showed that most treatments were tolerant except A2P2 (Al concentration 400 μM, the duration of stress is 4 days) and A1P1 (Al concentration 200 μM, the duration of stress is 2 days) is sensitive. The qualitative observations on color and root texture parameters showed that the results of each treatment combination were better than the controls. The concentration and duration of Al stress and the interaction of both did not affect the root re-growth ability and the number of root increase of *H. macrophylla* stem cuttings.

Abstrak

Hydrangea macrophylla merupakan tanaman hiperakumulator. Tanaman ini dapat mengumpulkan lebih dari 3000 mg kg⁻¹ Al berat kering dalam daunnya. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh berbagai konsentrasi Al, periode cekaman Al, dan interaksi antara kedua faktor tersebut pada kultur cair terhadap pertumbuhan akar dan kemampuan *root re-growth* stek batang tanaman *H. macrophylla*. Penelitian dilakukan pada bulan November 2016-April 2017, menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dua faktor yaitu konsentrasi Al (0; 200; 400 μM) dan lama cekaman Al (1; 2; 4 hari). Hasil pengamatan dianalisis dengan ANAVA dua jalan pada taraf nyata 5% dan perlakuan yang menunjukkan pengaruh nyata dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil Anava menunjukkan bahwa kombinasi cekaman dengan lama cekaman Al tidak berpengaruh terhadap parameter jumlah akar, namun interaksi keduanya berpengaruh terhadap penambahan panjang akar. Pada uji RRG menunjukkan hasil bahwa semua perlakuan bersifat toleran kecuali A2P2 (konsentrasi Al 400 μM, lama cekaman 4 hari) dan A1P1 (konsentrasi Al 200 μM, lama cekaman 2 hari) bersifat sensitif. Hasil pengamatan secara kualitatif pada parameter warna dan tekstur akar menunjukkan hasil pada masing-masing kombinasi perlakuan lebih baik daripada kontrol. Konsentrasi dan lama cekaman Al dan interaksi keduanya tidak mempengaruhi kemampuan *root re-growth* dan penambahan jumlah akar stek batang tanaman *H. macrophylla*.

© 2019 Universitas Negeri Semarang

✉Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lt.1 Jl Raya Sekaran Gunugpati, Semarang
E-mail: y.ulung.anggraito@mail.unnes.ac.id

p-ISSN 2252-6277

e-ISSN 2528-5009

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya lahan yang sangat luas untuk pengembangan berbagai komoditas pertanian. Luas lahan tersebut mencapai 188,20 juta ha, yang terdiri atas 148 juta ha lahan kering dan 40,20 juta ha lahan basah dengan jenis tanah, iklim, fisiografi, bahan induk, dan elevasi yang beragam (Mulyani & Las, 2008). Menurut Firmansyah (2010) tingginya Al^{3+} pada larutan tanah menyebabkan keasaman tanah meningkat dan konsentrasi yang dominan sehingga unsur Al^{3+} menjadi toksik.

Ciri utama keracunan Al adalah terjadi penghambatan pertumbuhan akar, yang pada akhirnya akan menurunkan produktifitas tanaman (Kochian, 2004). Hal tersebut merupakan gejala keracunan Al yang paling mudah dilihat. Penghambatan pertumbuhan akar telah banyak dilaporkan seperti pada *Lens culinaris* Medik (Singh *et al.*, 2012), *Camelia sinensis* (Tolraet *et al.*, 2011), *Jatropha curcas* (Tistama, 2012), *Zea mays* (Souza, 2016), dan *Glycine max* (Proklamasiningsih *et al.*, 2012). Kandungan Al yang tinggi mengakibatkan akar tidak efisien dalam menyerap unsur hara dan air.

Pada keadaan reaksi tanah sangat masam ($pH < 4,5$), Al menjadi sangat larut terutama dalam bentuk Al^{3+} yang beracun bagi tanaman (Rout *et al.*, 2001). Salah satu tumbuhan hiperakumulator yang toleran terhadap tanah asam adalah *Hydrangea macrophylla* (hortensia/panca warna). Menurut Singh & Chauhan (2011), *H. macrophylla* dapat mengumpulkan lebih dari 3000 mg kg^{-1} Al berat kering dalam daunnya dan membentuk kompleks Al dengan sitrat pada rasio 1:1. Pada penelitian Ma *et al.* (1997) *H. macrophylla* dapat mentoleransi Al pada konsentrasi 100 ppm yang ditumbuhkan pada media Hoagland cair. Namun pada penelitian Naumann *et al.* (2001) ujung akar stek batang *H. macrophylla* mengalami penebalan dan kerusakan setelah mendapat perlakuan cekaman $AlCl_3$ 500 μM selama 3 hari.

Salah satu karakter yang sudah digunakan untuk mengamati sifat toleransi Al pada tanaman adalah karakter pertumbuhan kembali akar (*root regrowth*, RRG). Roslim *et al.* (2010) menggunakan karakter RRG sebagai parameter toleransi Al pada tanaman padi. Nilai RRG ditentukan dengan cara mengukur panjang akar utama pada saat pemulihan setelah tanaman mendapat perlakuan cekaman Al selama waktu tertentu. Penelitian mengenai konsentrasi dan lama cekaman aluminium terhadap pertumbuhan akar dan kemampuan RRG stek batang *H. macrophylla* secara terpisah sudah banyak dilakukan, tetapi penelitian terpadu dari kedua faktor tersebut, pengaruhnya terhadap pertumbuhan akar dan kemampuan RRG stek batang *H. Macrophylla* belum pernah diteliti, sehingga perlu diteliti untuk mengetahui interaksi dari kedua faktor tersebut terhadap pertumbuhan akar kemampuan RRG tanaman *H. macrophylla*.

METODE

Bahan tanam dalam penelitian ini yaitu batang tanaman *H. macrophylla* yang diperoleh dari Bandungan Kabupaten Semarang. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kultur Jaringan Jurusan Biologi FMIPA UNNES Sekaran Gunungpati Semarang pada bulan November 2016 - April 2017. Bahan tanam disiapkan dari tanaman induk, dan bagian tengah batang *Hydrangea* yang belum berbunga diambil

dengan panjang 12 cm (Mudiana & Lugrayasa, 2000). Variabel bebas meliputi lama dan konsentrasi cekaman Al. Cekaman Al konsentrasi 0 μM , 200 μM , 400 μM , dan periode cekaman aluminium 1, 2, 4 hari. Variable terikat meliputi pertambahan jumlah akar, pertambahan panjang akar selama 48 jam setelah perlakuan cekaman Al. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAL) faktorial yang terdiri atas dua faktor yaitu konsentrasi Al dan lama cekaman Al. Faktor konsentrasi Al terdiri atas tiga taraf perlakuan (0; 200; 400 μM) dan lama cekaman Al terdiri atas tiga taraf perlakuan (1; 2; 4 hari). Setiap kombinasi perlakuan terdiri dari empat kali ulangan.

Tabel 1. Kombinasi taraf perlakuan konsentrasi dan lama cekaman aluminium.

Konsentrasi Aluminium (A)	Lama Cekaman Al (P)		
	1 hari (P0)	2 hari (P1)	4 hari (P2)
0 μM (A0)	A ₀ P ₀	A ₀ P ₁	A ₀ P ₂
200 μM (A1)	A ₁ P ₀	A ₁ P ₁	A ₁ P ₂
400 μM (A2)	A ₂ P ₀	A ₂ P ₁	A ₂ P ₂

Keterangan:

A₀: Konsentrasi aluminium 0 μM , A₁: Konsentrasi aluminium 200 μM , A₂: Konsentrasi aluminium 400 μM , P₀: Lamacekaman 1 hari, P₁: Lamacekaman 2 hari, P₂: Lamacekaman 4 hari.

Persiapan Media Nutrisi & Larutan Cekaman Al

Membuat stok larutan nutrisi dengan cara menimbang 4,33 gram MS Caisson yang dilarutkan dengan akuades 1 liter dan mengukur pH larutan nutrisi dengan menggunakan kertas pH indikator. Apabila pH terlalu asam maka ditambahkan NaOH 0,1 N dan bila terlalu basa ditambahkan larutan HCl 0,1 N. Perlakuan dalam satu gelas plastik berisi 0,5 liter media yang berisi larutan nutrisi. Membuat larutan stek dengan cara menimbang 200 mg *Rapid root* kemudian dilarutkan ke dalam 1 liter akuades. Larutan ZPT yang sudah siap, dimasukkan ke dalam bak sesuai dengan konsentrasi. Stek *Hydrangea* dimasukkan ke dalam bak dan direndam selama kurang lebih 20 jam (Arinasa, 2015).

Konsentrasi cekaman Al yang digunakan yaitu 0; 200; 400 μM . Persiapan larutan dengan cara: larutan aluminium dengan konsentrasi 200 μM dengan cara menimbang 0,039 gr Al kemudian dilarutkan ke dalam media MS dan larutan aluminium dengan konsentrasi 400 μM dengan cara menimbang 0,079 gr Al kemudian dilarutkan ke dalam media MS.

Penanaman Stek

Stek batang direndam pada *Rapid root* selama 24 jam. Stek batang ditanam pada sterofoam yang telah dilubangi dan direkatkan dengan plastisin untuk menyangga, diletakkan pada bak plastik yang berisi media akuades 1,5 liter kemudian ditunggu 5 minggu hingga tumbuh akar. Pertambahan panjang diukur tiap minggu pada akar terpanjang dan jumlah akar pada tiap kombinasi perlakuan. Suhu ruang tanam 24°C, pH media cekaman 4,0, Pencahayaan dengan lampu LED Tube 18 Watt dengan lama penyinaran 8-9 jam.

Perlakuan Cekaman Aluminium

Gelas plastik diisi dengan larutan nutrisi 1/20 MS 0,5 liter yang masing-masing berisi cekaman aluminium sesuai konsentrasi yang sudah dibuat, stek batang diletakkan padasterofoam yang sudah dilubangi sesuai dengan diameter batang. Sterofoam berfungsi sebagai penyangga stek agar dapat berdiri pada larutan nutrisi. Pada bak diberi pompa sirkulasi. Setiap hari mengukur pertambahan panjang dan jumlah akar yang tumbuh pada masing-masing periode dan konsentrasi.

Root re-growth

Setelah melakukan pengeckaman pada masing-masing periode (1, 2, 4 hari), stek batang direndam dengan akuades selama 1 jam (Tistama *et al.*, 2012) kemudian stek batang hasil cekaman dipindahkan ke media 1/20 MS tanpa cekaman selama 48 jam (Zhang *et al.*, 2007) menggunakan penyangga sterofom dengan periode 1, 2, 4 hari pada masing-masing konsentrasi. Pertambahan panjang akar dihitung dengan cara mengukur panjang akar setelah cekaman Al dikurangi panjang akar pada saat pemulihan (RRG).

Pengamatan dan Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setiap minggu untuk parameter menghitung panjang akar dan jumlah akar, pertumbuhan akar setelah RRG, dan pengamatan kondisi daun, warna akar dan tekstur akar dilakukan pada hari ke-2 setelah perlakuan. Hasil pengamatan dianalisis dengan uji ANAVA dua jalan. Kemudian untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan digunakan Uji Duncan taraf 5% (Gomez & Gomez, 2010)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertambahan Jumlah dan Panjang Akar

Penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap pertumbuhan akar. Pengamatan pertumbuhan akar meliputi pertambahan jumlah dan panjang akar. Hasil analisis data untuk pertambahan jumlah dan panjang akar seperti yang tertera dalam Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Analisis Dua Jalan untuk Parameter Jumlah dan Panjang Akar

Sumber variasi	Signifikasi untuk parameter jumlah dan panjang akar	
	Jumlah akar	Panjang akar
Periode	0,338	0,237
Aluminium	0,583	0,5
Interaksi antarlama cekaman dan konsentrasi Al	0,897	0,02

Hasil uji ANOVA dua jalan untuk parameter jumlah akar menunjukkan bahwa nilai Sig. $> \alpha$ sehingga H_0 diterima. Jadi tidak ada perbedaan yang signifikan antara konsentrasi, lama cekaman, interaksi antara keduanya dalam mempengaruhi pertambahan jumlah akar. Pada parameter panjang akar hanya interaksi antara lama cekaman dan konsentrasi Al yang berpengaruh terhadap pertambahan

panjang akar sehingga dilakukan uji lanjut Duncan. Hasil uji Duncan interaksi antara lama cekaman dan konsentrasi Al yang berpengaruh terhadap panjang akar tertera dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Duncan untuk Interaksi Konsentrasi dan Lama Cekaman Al terhadap Panjang Akar

Konsentrasi Al	Subset	Lama cekaman Al	Subset
0 μM	1,0083 ^a	1 hari	1,0417 ^a
200 μM	0,9717 ^a	2 hari	0,7417 ^a
400 μM	0,3000 ^a	4 hari	0,4967 ^a

Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa semua angka diikuti oleh huruf yang sama sehingga semua perlakuan interaksi terhadap panjang akar tidak berbeda nyata (Tabel 3).

Pada pengamatan jumlah akar, cekaman Al tidak berpengaruh terhadap penurunan jumlah akar, karena penambahan jumlah akar tidak konsisten di antara semua perlakuan. Hal ini disebabkan tanaman umumnya merespon cekaman Al dengan meningkatkan sintesis dan eksudasi asam organik seiring meningkatnya cekaman Al. Komponen Al dan asam organik berperan dalam siklus penting dalam detoksifikasi Al pada tanaman akumulator Al (Singh, 2011). Asam organik sitrat mampu mereduksi toksisitas Al dalam konsentrasi rendah sehingga mengubah Al menjadi bentuk yang tersedia bagi akar tanaman. Akumulasi Al di dalam jaringan akar terjadi dikarenakan tiga kemungkinan yaitu pertama, tidak adanya translokasi Al ke daun seperti hal pada tanaman (Watanabe & Osaki, 2008), kedua, kemampuan akar mengeksudasi Al rendah dan ketiga konsentrasi asam organik yang dieksudasikan tidak mampu mengkelat semua Al yang ada di apoplas dan permukaan akar (Tistama, 2012).

Parameter pertambahan panjang akar, adanya pengaruh interaksi antara konsentrasi dan lama cekaman Al terhadap panjang akar disebabkan pemanjangan akar mengalami penurunan seiring semakin tingginya konsentrasi dan lama cekaman Al. Kandungan sitrat di dalam akar menurun pada cekaman Al tinggi, tetapi eksudasi sitrat terus meningkat. Kemungkinan hal ini terjadi karena peningkatan eksudasi sitrat dari jaringan akar tidak diikuti peningkatan sintesis sitrat di jaringan akar. Kondisi ini menyebabkan kandungan sitrat di dalam akar menurun. (Watanabe & Osaki, 2002), sehingga menyebabkan menurunnya reduksi sitrat terhadap Al yang mengakibatkan menurunnya pertambahan panjang akar.

Dalam penelitian Tistama (2012) aluminium menghambat pemanjangan akar *J. curcas* pada konsentrasi lebih dari 0,2 mM. Pemanjangan akar *Picea abies* yang toleran Al menurun 40% pada cekaman 0,5 mM Al selama 2 hari (Nagy *et al.*, 2004). Tanaman jarak mengalami penghambatan akar hingga 48% jika diperlakukan dengan 0,8 mM Al. Penghambatan tersebut lebih tinggi dibandingkan penghambatan akar pada *M. malabathricum*, *Eucaliptus* dan varites kedelai toleran Al.

Root re-growth (RRG)

Selain pengamatan terhadap pertumbuhan akar, juga dilakukan pengamatan *root re-growth* (RRG). Hasil analisis data untuk (RRG) seperti yang tertera dalam Tabel 4.

Tabel 4. Ringkasan Hasil Analisis Dua Jalan untuk RRG

Sumber variasi	Signifikansi RRG
Periode	0,338
Aluminium	0,583
Interaksi antara lama cekaman dan konsentrasi Al	0,897

Pada hasil uji ANOVA dua jalan didapat nilai Sig. $>\alpha$ sehingga H_0 diterima. Jadi tidak ada perbedaan yang signifikan antara konsentrasi, lama cekaman (periode), interaksi antara konsentrasi dan lama cekaman (periode) dalam mempengaruhi *Root re-growth H. macrophylla*.

Tabel 5. Nilai RRG Data Panjang Akar untuk Setiap Taraf Perlakuan

Perlakuan	Nilai RRG	Kategori
A ₁ P ₀	0,8	Toleran
A ₁ P ₁	0,07	Sensitif
A ₁ P ₂	2,11	Toleran
A ₂ P ₀	0,62	Toleran
A ₂ P ₁	1,15	Toleran
A ₂ P ₂	0,45	Sensitif

Nilai RRG di atas menunjukkan bahwa sebagian besar perlakuan bersifat toleran, kecuali perlakuan A₁P₁ (cekaman 200 μ M, periode cekaman 2 hari), dan A₂P₂ (cekaman 400 μ M, periode cekaman 4 hari). Hal ini disebabkan *H. macrophylla* yang bersifat bioakumulator sehingga dalam konsentrasi tersebut tanaman masih dapat mengakumulasi logam Al.

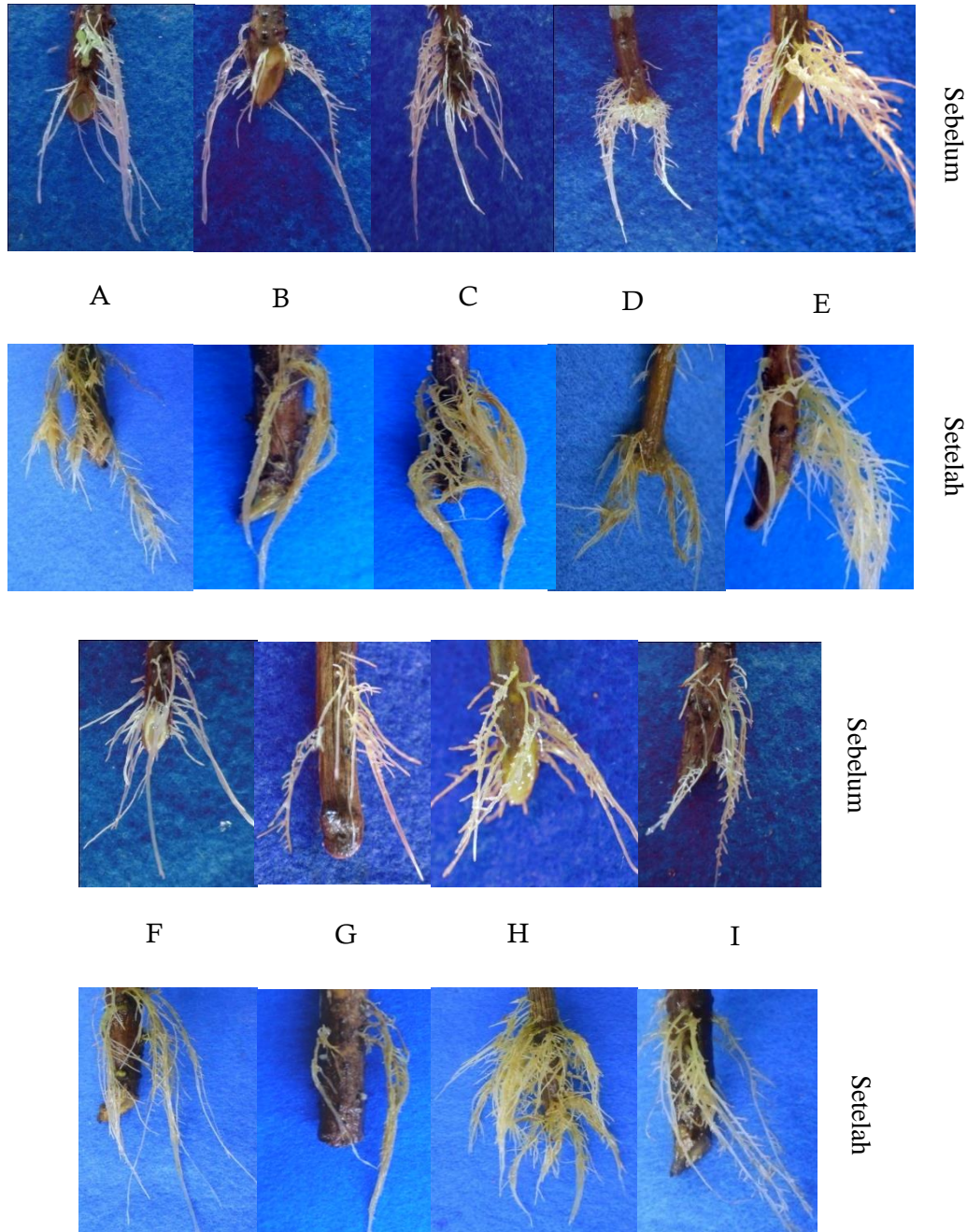
Hasil pengamatan secara kualitatif menunjukkan bahwa sebagian besar perlakuan bersifat toleran, kecuali A₂P₂ (cekaman 400 μ M, periode cekaman 4 hari) dan A₁P₁ (cekaman 200 μ M, periode cekaman 2 hari). Hal ini disebabkan karena dari *H. macrophylla* yang bersifat bioakumulator sehingga konsentrasi tersebut tanaman masih dapat mentoleransi logam Al.

Pada parameter jumlah akar, penambahan jumlah akar tidak konsisten di antara semua perlakuan Al. Hal ini disebabkan tanaman umumnya merespon cekaman Al dengan meningkatkan sintesis dan eksudasi asam organik seiring meningkatnya cekaman Al. Sitrat sintase mendukung sekresi asam sitrat yang berperan dalam siklus toleransi Al pada tanaman *H. macrophylla* (Chen, 2015). Asam organik sitrat mampu mereduksi toksisitas Al dalam konsentrasi rendah. Sehingga ketika dimasukkan dalam rumus *root re-growth* kombinasi perlakuan dengan konsentrasi dan periode cekaman menunjukkan hasil yang toleran. Menurut Ryan dan Delhaize (2010) strategi pertahanan tanaman ini terhadap cekaman Al melalui pencegahan akumulasi ion Al trivalen dalam simplas dan meminimalisasi interaksi berbahaya dengan membran plasma, dinding sel, atau target lain di apoplas.

Morfologi Akar dan Kondisi Daun

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa warna dan tekstur akar pada setiap kombinasi perlakuan berbeda-beda. Pada kombinasi perlakuan A₀P₀ warna akar coklat muda dan tekstur cenderung lunak, A₁P₀

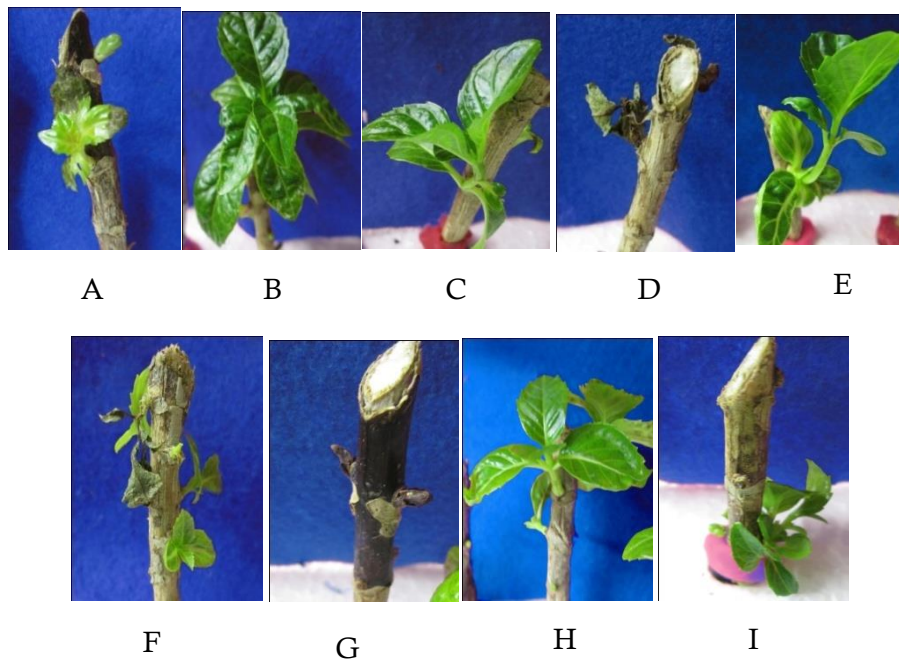
warna akar coklat muda dan tekstur keras, A_2P_0 warna akar coklat muda dan tekstur keras, A_0P_1 warna akar coklat tua dan tekstur lunak, A_1P_1 warna akar putih dan tekstur keras, A_2P_1 warna akar coklat muda dan tekstur keras, A_0P_2 warna akar coklat tua dan tekstur lunak, A_1P_2 warna akar putih kekuningan dan tekstur cenderung lunak, A_2P_2 warna akar putih kekuningan dan tekstur keras (Gambar 1).



Gambar 1. Perbandingan kondisi morfologi akar *H. macrophylla* setelah pencekaman selama 1, 2, 4 hari. a) A_0P_0 , b) A_1P_0 , c) A_2P_0 , d) A_0P_1 , e) A_1P_1 , f) A_2P_1 , g) A_0P_2 , h) A_1P_2 , i) A_2P_2 .

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kondisi pada setiap kombinasi perlakuan berbeda-beda dari konsentrasi dan lama cekaman terendah sampai tertinggi. Pada kombinasi perlakuan A_0P_0 sebagian daun hijau sebagian kering, A_1P_0 semua daun hijau dan segar, A_2P_0 semua daun hijau dan segar, A_0P_1 sebagian daun hijau sebagian kering, A_1P_1 semua daun hijau dan segar, A_2P_1 sebagian daun hijau sebagian

kering, A₀P₂ seluruh daun kering, A₁P₂ semua daun hijau dan segar, A₂P₂ semua daun hijau dan segar (Gambar 2.)



Gambar 2. Kondisi daun *H. macrophylla* setelah pencekaman selama 1, 2, 4 hari. a) A₀P₀, b) A₁P₀, c) A₂P₀, d) A₀P₁, e) A₁P₁, f) A₂P₁, g) A₀P₂, h) A₁P₂, i) A₂P₂.

Hasil pengamatan secara kualitatif pada parameter warna dan tekstur akar menunjukkan warna akar dan tekstur akar pada masing-masing kombinasi perlakuan menunjukkan hasil yang lebih baik daripada kontrol. Pada daun kombinasi A₂P₂, semua dan segar dibandingkan dengan A₀P₁ semua daun kering. Pada akar kombinasi A₂P₂, warna akar putih kekuningan dan tekstur akar kuat, dibandingkan dengan kontrol keadaan daun kering, warna akar kecoklatan, dan tekstur akar agak lunak. Kombinasi A₁P₀, warna akar coklat muda dan tekstur akar keras cenderung lunak.

Pada parameter pengamatan daun, Al menyebabkan bagian daun menjadi kering. Kondisi ini ditandai dengan adanya daun kering atau sebagian pada kontrol dan cekaman Al. Kondisi ini berkebalikan dengan konsentrasi tertinggi yaitu kenampakan daun segar (Gambar 1). Kenampakan daun segar pada konsentrasi tertinggi pada perlakuan disebabkan adanya nutrisi yang berasal dari asam organik yang mereduksi Al dan sisa dari Al yang tidak terlarut di rizosfer. Hal itu berfungsi sebagai ligan untuk akumulasi Al dalam daun (Watanabe *et al.*, 1998). Umumnya tanaman merespon cekaman Al dengan meningkatkan sintesis dan eksudasi asam organik seiring meningkatnya cekaman Al. Sitrat sintase mendukung sekresi asam sitrat yang berperan dalam siklus toleransi Al pada tanaman *H. macrophylla* (Chen, 2015).

Daun kering pada stek disebabkan stres air pada tanaman karena tanaman mengalami defisit air dan membuat metabolisme di dalam tanaman terhambat hingga akhirnya menyebabkan sel-sel mati. Penghambatan penyerapan air dapat terjadi karena terjadinya kerusakan pada akar sehingga membuat kemampuan akar dalam menyerap air menurun. Ketika sel-sel akar mati maka akar tidak mampu

menyerap air dan mensuplai air ke bagian tajuk. Menurut Masumoto & Motoda (2012), stress air akibat Al diketahui dapat meningkatkan sintesis ABA (asam absisat), ini merupakan mekanisme yang digunakan untuk mengurangi laju transpirasi (penguapan air). Peningkatan sintesis ABA dapat menyebabkan penutupan stomata karena ABA dapat mempertahankan sel penjaga tetap menutup. Penutupan stomata dapat menekan laju transpirasi dengan meminimalkan pelepasan uap air ke udara. Jadi penutupan stomata ini bertujuan agar tanaman tidak terlalu kehilangan banyak air.

Pada parameter warna dan tekstur akar, cekaman oksidatif ini memicu perubahan warna akar yang terjadi merupakan salah satu respon cekaman oksidatif munculnya *reactive oxygen species* (ROS) dan berinteraksi dengan *polyunsaturated fatty acid* (PUFA) dan *fatty acid* (FA) membentuk senyawa aldehid yaitu MDA (*malondialdehyde*). Senyawa aldehid ini merupakan molekul yang digunakan sebagai penanda biologis akibat terjadinya mutasi (Wang *et al.*, 2008). Degradasi lipid ini mengakibatkan membran plasma kehilangan integritasnya (Yamamoto *et al.*, 2001), yang selanjutnya memicu gangguan fungsi akar dalam penyerapan hara dan air (Peitraszewska 2001), sehingga menyebabkan defisiensi unsur hara.

Dari hasil pengamatan di atas diketahui bahwa sebagian besar jaringan akar telah mengalami degradasi membran. Intensitas kerusakan ini dikarenakan lamanya cekaman Al dan pengakaran. Efek Al berpengaruh terhadap integritas dinding sel maupun membran plasma yaitu terlihat dari indikasi tekstur akar yang menjadi lebih lunak atau melemahnya sifat kekakuan dari dinding sel. Yamamoto (2001) menjelaskan bahwa *Pisum sativum* yang dicekam oleh Al menunjukkan bermacam-macam respon seperti penghambatan pertumbuhan akar, akumulasi Al, peroksidasi lipid, dan kehilangan integritas membran plasma. *Pisum sativum* telah mengalami degradasi membran plasma dalam waktu 24 jam

SIMPULAN

Konsentrasi aluminium dan lama cekaman aluminium pada kultur cair berpengaruh terhadap pertumbuhan panjang akar stek batang *H. macrophylla*. Konsentrasi aluminium dan lama cekaman aluminium pada kultur cair tidak berpengaruh terhadap kemampuan *root re-growth* stek batang *H. macrophylla*. Adanya interaksi antara konsentrasi dan lama cekaman aluminium pada kultur cair terhadap pertumbuhan panjang akar.

DAFTAR PUSTAKA

- Arinasa, I. B. K. (2015). Pengaruh konsentrasi rootone dan panjang setek pada pertumbuhan *Begonia tuberosa* Lmk. *Jurnal Hortikultura*, 25(2), 142-149.
- Chen, H., Changping, L., Hui J., & Jinhui, P. (2015). Global transcriptome analysis reveals distinct aluminium-tolerance pathways in the Al-accumulating species *Hydrangea macrophylla* and marker identification. *Plos one*, 10(12), e0144927.
- Firmansyah, M. A. (2010). Respon tanaman terhadap aluminium. *Agripura*, 6(2), 807-816.
- Gomez, K. C., & Gomez, A. (2010). Prosedur statistik untuk penelitian pertanian. *Terjemahan Endang Sjamsuddin & Justika S. Baharsjah: 2010*. Edisi kedua. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press): Jakarta.

- Kochian, L. V., Hoekenga, O. A., & Pineros, M. A. (2004). How do crop plants tolerate acids soil? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual Review Plant Biology*, 55, 459-493.
- Ma, J. F., Hiradate, S., Nomoto, K., Iwashita, T., & Matsumoto, H. (1997). Internal detoxification mechanism of Al in hydrangea - Identification of Al form in the leaves. *Plant Physiology*, 113, 1033-1039.
- Matsumoto, H. & Motoda, H. (2012). Aluminum toxicity recovery processes in root apices. possible association with oxidative stress. *Plant Science*, 1(8), 1-8.
- Mudiana, D. & Lugrayasa, I.N. (2000). Pengaruh asal bahan setek dengan perlakuan zat pengatur tumbuh pada pertumbuhan setek *Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser. Ex DC. Dalam: *Hari Cinta Puspa dan Satwa Nasional*. Bogor, 5 November 2000. Hlm, 262-268.
- Mulyani, A. & Las, I. (2008). Potensi sumber daya lahan dan optimalisasi pengembangan komoditas penghasil bioenergi di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian*, 27(1), 31-41.
- Nagy, N. E., Dalen, L. R., Jones, D. L., Swensen, B., Fossdal, C. G., & Eldhuset, T. D. (2004). Cytological and Enzymatic Responses to aluminum stress in root tips of Norway spruce seedlings. *New Phytology*, 163(3), 595-607.
- Naumann, A., Kunz, U., Lehmann, H., Stelzer, R., & Horst, W. J. (2001). Effect of aluminium on root morphology of *Hydrangea macrophylla*. *Plant nutrition*, 516-517.
- Pietraszewska, T.M. (2001). Effect of aluminum on plant growth and metabolism. *Actual Biochemistry Poland*, 48(3), 673-686.
- Proklamasiningsih, E., Prijambada, D., Rachmawati, D., & Sancayaningsih, R. (2012). Pengaruh pemberian garam aluminium terhadap serapan aluminium dan pertumbuhan akar kedelai pada media tanah asam. *Bionatura ilmu-ilmu Hayati dan Fisik*, 14(2), 107-114.
- Ryan, P. R., & Delhaize, E. (2010). The convergent evolution of aluminium resistance in plants exploits a convenient currency. *Funct Plant Biology*, 37, 275-284.
- Roslim, D. I., Miftahudin, Utut, S., Hajrial, A., & Alex, H. (2010). Karakter root re-growth sebagai parameter toleransi aluminium pada tanaman padi. *Jurnal Natur Indonesia*, 13(1), 82-88.
- Rout, G. R., Samantaray, S., & Das, P. (2001). Aluminium toxicity in plants: a review. *Agronomie*, 21, 3-21.
- Singh, D., Dikshit, H. K., & Singh, R. (2012). Variation of aluminium tolerance in Lentil. *Plant Breed*, 131, 751-761.
- Souza, L., Jose, C., Cleberson, R., Juraci, A., & Luzimar, C. Effect of aluminium on the elongation and external morphology of root tips in two maize genotypes. *Bragantia*, 75(1), 19-25.
- Tistama, R., Utut, W., Didi S., & Suharsono. (2012). Physiological and biochemical responses to aluminum stress in the root of a biodiesel plant *Jatropha curcas* L. *Hayati Jurnal Bioscience*, 19(1), 37-43.
- Tolra, R., Katarina, V., Roghieh, H., Peter, K., Paula, P., Burkhard, K., Allesandra, G., Vladimir, B., Juan, B., Marjana, R., & Charlotte, P. (2011). Localization of Al in tea (*Camellia sinensis*) leaves using low energy x-ray fluorescence spectro-microscopy. *Journal Plant Res*, 124, 164-172.
- Wang, Z., Zhang, Y., Huang, Z., & Huang, L. (2008). Antioxidative response of metal accumulator and non accumulator plants under cadmium stress. *Plant Soil*, 310, 137-149.
- Watanabe, T., Osaki, M., Yoshihara, T., & Tadano, T. (1998). Distribution and chemical speciation of aluminum in the Al accumulator plant *Melastoma malabathricum* L. *Plant and Soil*, 201, 165-173.
- Watanabe, T. & Osaki, M. (2002). Role of organic acids in aluminum accumulation and plant growth in *Melastoma malabathricum*. *Tree Physiology*, 22, 785-792.
- Watanabe, T., Osaki, M., Yoshihara, T., & Tadano, T. (2008). Root mucilage enhances aluminium accumulation in *Melastoma malabathricum* an aluminium accumulator. *Plant Signal Behaviour*, 3(8), 603-605.
- Yamamoto, Y., Kobayashi, Y., & Matsumoto, H. (2001). Lipid peroxidation is an early symptom triggered by aluminum, but not the primary cause of elongation inhibition in pea roots. *Plant Physiology*, 125, 199-208.
- Zhang, X., Alan, H., & Geoff, A. (2007). Genetic variability and inheritance of aluminium tolerance as indicated by long root regrowth in lucerne (*Medicago sativa* L.). *Euphytica*, 157, 177-184.