



Prosiding Seminar Nasional Pertanian Pesisir (SENATASI)
Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu
Bengkulu, 21 Juni 2022

PENGARUH CEKAMAN ALUMINIUM PADA PERTUMBUHAN KEDELAI DI KULTUR HARA

Effect of Aluminum Stress on Soybean Growth on Nutrient Cultivation

Hesti Pujiwati^{1*)}, Usman K.J. Suharjo¹⁾, Wuri Prameswari¹⁾, Bambang G. Murcitra²⁾, dan Edi Susilo³⁾

¹⁾Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu

²⁾Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu

³⁾Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Ratu Samban

Corresponding author: hesti_pujiwati@unib.ac.id

ABSTRACT

The tolerance level of soybean plants to aluminum stress differs in different genotypes. This study aimed to develop soybean genotypes against aluminum stress at different concentrations. The research was carried out from May to June 2022 in the Greenhouse of the Agricultural Cultivation Department, Faculty of Agriculture, Bengkulu University, and the FMIPA Laboratory. The study used a completely randomized block design (CRD) with two factors and three replications. The first factor was seven soybean varieties: Tanggamus, Cikuray, Local Malang, Ceneng, Malika, Detam 1, and Detam 2. The second factor was aluminum concentration with four levels, namely 0 mM, 0.5 mM, 0.7 mM, and 0.9 mM. Chemicals used as a nutrient solution with a concentration of 1/3 strength consisted of: 1.5 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 1.0 mM NH_4NO_3 ; 1.0 mM KCl; 0.4 mM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1.0 mM KH_2PO_4 ; 0.50 ppm $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0.02 ppm $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0.05 ppm $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0.50 ppm H_3BO_3 ; 0.01 ppm $(\text{NH}_4)_2\text{MgO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ and 0.068 mM $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Aluminum is supplied in the form of $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. The results showed that the 0.5 mM Al concentration of Tanggamus and Cikuray varieties was more tolerant than the other five soybean varieties. Meanwhile, Al concentration of 0.7 mM showed that almost all varieties were moderate to Al stress except for Detam 1 and Detam 2 varieties which were sensitive to Al concentration of 0.7 mM. The 0.9 mM Al concentration condition showed that all varieties were sensitive to Al stress. It can be said that increasing the concentration of Al given increases the sensitivity of plants to aluminum stress.

Keyword: *Aluminum, stress, soybean, nutrient culture*

ABSTRAK

Cekaman Aluminium pada tanaman kedelai dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Tingkat toleransi tanaman kedelai terhadap cekaman Aluminium berbeda pada genotipe yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi genotipe kedelai terhadap cekaman Aluminium pada

konsentrasi yang berbeda. Pelaksanaan penelitian pada bulan Mei sampai Juni 2022 di Rumah Kaca Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu dan Laboratorium FMIPA. Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok lengkap (RAL) 2 faktor 3 ulangan. Faktor pertama adalah tujuh varietas kedelai yaitu Tanggamus, Cikuray, Lokal Malang, Ceneng, Malika, Detam 1, dan Detam 2. Faktor kedua merupakan konsentrasi aluminium dengan empat taraf yaitu 0 mM, 0.5 mM, 0.7 mM, dan 0.9 mM. Komposisi bahan kimia yang digunakan sebagai larutan hara yakni konsentrasi 1/3 strength terdiri atas: 1.5 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 1.0 mM NH_4NO_3 ; 1.0 mM KCl; 0.4 mM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1.0 mM KH_2PO_4 ; 0.50 ppm $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0.02 ppm $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0.05 ppm $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0.50 ppm H_3BO_3 ; 0.01 ppm $(\text{NH}_4)_2\text{M}_2\text{O}_7 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ dan 0.068 mM $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Aluminium diberikan dalam bentuk $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada konsentrasi Al 0.5 mM varietas Tanggamus dan Cikuray lebih toleran bila dibandingkan dengan lima varietas kedelai lainnya. Sementara itu, konsentrasi Al 0.7 mM menunjukkan hampir semua varietas bersifat moderat terhadap cekaman Al kecuali pada varietas Detam 1 dan Detam 2 yang peka terhadap konsentrasi Al 0.7 mM. Kondisi konsentrasi Al 0.9 mM menunjukkan semua varietas peka terhadap cekaman Al. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi Al yang diberikan maka semakin peka indeks sensitivitas tanaman kedelai terhadap cekaman aluminium.

Kata kunci: *aluminium, cekaman, kedelai, kultur hara*

PENDAHULUAN

Kedelai (*Glycine max* L.) merupakan salah satu komoditi yang memiliki sumber protein nabati yang diproduksi di Seluruh dunia (Fried *et al.*, 2018). Di Indonesia, tanaman kedelai telah lama diusahakan dan menjadi salah satu tanaman pangan yang penting untuk diperhatikan. Kedelai mempunyai prospek yang baik untuk dikembangkan di Indonesia karena merupakan sumber protein nabati yang relatif murah dan mudah didapatkan. Biji kedelai juga mengandung fosfor, besi, kalsium, vitamin B dengan komposisi asam amino lengkap (Fauzi dan Puspitawati, 2018). Dari tahun ke tahun permintaan akan kedelai semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan berkembangnya industri pengolahan pangan yang menggunakan kedelai sebagai bahan dasar dalam pembuatan kecap, tahu, tempe, dan lain sebagainya. Namun, disisi lain produksi kedelai di Indonesia semakin menurun (Balitbangtan, 2012). Menurut data Departemen Pertanian (2016) menunjukkan bahwa, penyediaan bahan pangan memperlihatkan pertumbuhan produksi yang lebih tinggi dibandingkan pertumbuhan konsumsi, namun secara absolut antara produksi dan konsumsi belum seimbang karena masih menunjukkan defisit produksi. Di Indonesia, impor kedelai pada semester I/2020 mencapai 1,27 juta ton dan 1,14 juta ton diantaranya berasal dari Amerika Serikat. Sementara itu jika dilihat pada tahun sebelumnya, total impor kedelai mencapai 2,67 juta ton pada 2017, 2,58 juta ton pada 2018, dan 2,67 juta ton pada 2019 (BPS, 2020). Ditambahkan juga oleh Garuda (2017), penyebab utama yang dihadapi dalam upaya peningkatan produksi dan produktivitas kedelai di Indonesia karena kurang tersedianya lahan pertanian untuk pengembangan komoditas kedelai.

Salah satu upaya untuk meningkatkan produksi kedelai secara nasional adalah memperluas areal tanam dengan memanfaatkan lahan-lahan yang marginal yang potensinya sangat besar seperti lahan masam. Lebih dari 102 juta hektar lahan pertanian di Indonesia bersifat masam (Mulyani *et al.*, 2011). Aluminium (Al) diketahui sebagai faktor utama penyebab keracunan bagi tanaman yang tumbuh di tanah masam. Beberapa kendala yang umum terjadi pada tanah ultisol dalam reaksi tanah sangat masam sampai masam (pH nya 4,1 – 4,8) rasio C/N tergolong rendah, kejenuhan Al tinggi, kekurangan unsur hara makro terutama N, P, K, Ca, dan Mg, kandungan bahan organik rendah serta konsentrasi mangan (Mn) tinggi menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi kerdil (Damanik *et al.*, 2010; Bian *et al.*, 2013; Indrayani *et al.*, 2017).

Upaya untuk mengatasi permasalahan tanaman yang keracunan Al diperlukan varietas yang toleran di lahan masam dengan kelarutan logam yang tinggi untuk dikembangkan pada lahan di luar Pulau Jawa (Anggraito, 2012). Oleh karena itu perakitan varietas kedelai yang toleran terhadap

keracunan Al perlu dilakukan pengujian galur-galur pada tingkat konsentrasi Al tertentu. Penentuan konsentrasi Al yang tepat perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi Al yang mampu membedakan varietas kedelai toleran dan yang peka. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan varietas kedelai yang memiliki sifat toleran terhadap cekaman Al melalui metode kultur hara yang diberi cekaman Al dengan konsentrasi tertentu.

METODE PENELITIAN

Tempat dan waktu

Penelitian ini dilakukan di Greenhouse, Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu mulai dari bulan Mei hingga Juni 2022.

Rancangan Percobaan, Bahan dan Alat

Percobaan disusun berdasarkan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial dengan tiga ulangan

Cekaman Aluminium

Faktor pertama adalah tujuh varietas kedelai yaitu Tanggamus, Cikuray, Lokal Malang, Ceneng, Malika, Detam 1, dan Detam 2. Faktor kedua merupakan konsentrasi aluminium dengan empat taraf yaitu 0 mM, 0.5 mM, 0.7 mM, dan 0.9 mM. Tiap unit percobaan terdiri atas satu bak yang masing-masing berisi 5 L larutan hara dengan 20 bibit per bak.

Benih varietas kedelai disemai pada tray semai dengan media arang sekam dan kompos dengan perbandingan 1:1 (v/v) hingga tanaman berumur 7 hari setelah semai (HSS). Bibit berumur 7 HSS diseleksi berdasarkan ukuran yang seragam dan dipindahtanamkan pada larutan hara selama tujuh hari. Penanaman dilakukan dengan cara memisahkan bibit dari media tanam, mencuci akar hingga bersih dan melepaskan benih yang masih menempel. Pangkal bibit kemudian dibungkus dengan busa lunak dan diapungkan pada media kultur hara dengan menggunakan *styrofoam*. Aerasi kultur hara diatur menggunakan aerator untuk menjamin ketersediaan oksigen pada larutan hara. Media kultur hara yang digunakan mengacu pada Ohki (1987) dan Agustina (2011), konsentrasi 1/3 strength yaitu mengandung 1.5 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 1.0 mM NH_4NO_3 ; 1.0 mM KCl; 0.4 mM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1.0 mM KH_2PO_4 ; 0.50 ppm $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0.02 ppm $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0.05 ppm $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0.50 ppm H_3BO_3 ; 0.01 ppm $(\text{NH}_4)_2\text{MgO}_7 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ dan 0.068 mM $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Aluminium diberikan dalam bentuk $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Bibit kemudian dipindahkan ke larutan hara baru dan diberi perlakuan cekaman pada tujuh hari setelah kultur. Larutan hara dan perlakuan diganti setiap tujuh hari sekali selama 15 hari. pH larutan hara dikontrol pada ± 4.0 menggunakan 1 M HCl atau 1 M NaOH. Tahap persiapan bibit pada system kultur hara ditampilkan. Suhu dan kelembaban genotipe rata-rata harian dalam rumah kaca ditentukan dengan mengacu kepada Handoko (1994).

Variabel pengamatan

Pengamatan variabel pertumbuhan dilakukan pada lima bibit per ulangan, yang meliputi : bobot akar, bobot tajuk, bobot tajuk dan akar, serta panjang akar dilakukan pada umur bibit 15 HSP. Toleransi kedelai terhadap cekaman abiotik dinilai dengan menggunakan indeks toleransi cekaman atau *stress tolerance index* (STI) (Fernandez 1993) dengan rumus:

$$\text{STI} = (\text{Yp} \times \text{Ys}) / \bar{p}$$

Ys : nilai pengamatan untuk satu genotipe pada kondisi optimal

Yp : nilai pengamatan untuk satu genotipe pada kondisi tercekam

p : rata-rata nilai pengamatan untuk seluruh genotipe pada kondisi optimal

Data kuantitatif dianalisis ragam dan jika terdapat pengaruh nyata ($P < 0.05$) dilakukan uji lanjut menggunakan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf $\alpha = 5\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai analisis varian untuk setiap variabel pengamatan

Data hasil pengamatan diolah dengan uji F dengan analisis varians (ANOVA). Untuk variabel yang berpengaruh nyata diuji lanjut dengan Uji Berganda Duncan (DMRT) pada taraf signifikan 5%.

Tabel 1. Hasil analisis varian (ANOVA) pada taraf 5%

Variabel	F-Hit		
	Cekaman Al	Varietas	Interaksi
Bobot Tajuk	9,06**	6,75**	0,29 ns
Bobot Akar	0,38 ns	0,65 ns	0,87 ns
Bobot Tajuk + Bobot Akar	2,62 ns	0,63 ns	0,29 ns
Panjang Akar	104,33**	3,33**	0,81 ns

Keterangan: *= (berbeda nyata), ** = (sangat berbeda nyata), T = (Transformasi), ns= (berbeda tidak nyata)

Hasil analisis varians menunjukkan varietas kedelai dan cekaman aluminium (Al) berpengaruh nyata terhadap beberapa variabel pertumbuhan bibit kedelai. Tidak terdapat interaksi antar varietas dan cekaman Al terhadap seluruh variabel yang diamati. Cekaman Al berpengaruh nyata terhadap variabel bobot tajuk dan panjang akar. Sementara itu, varietas kedelai juga berpengaruh nyata terhadap variabel bobot tajuk dan panjang akar.

Respon Bobot Tajuk dan Panjang Akar Terhadap Cekaman Aluminium

Cekaman Al menyebabkan hambatan biomassa kedelai pada larutan hara. Pengaruh cekaman Al berpengaruh nyata terhadap variabel bobot tajuk dan panjang akar (Tabel 2). Berdasarkan tabel 2 terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi cekaman Al yang diberikan maka akan semakin kecil bobot tajuk dan panjang akar, dimana bobot tajuk dan panjang akar pada kontrol lebih tinggi bila dibandingkan dengan konsentrasi Al 0.9 mM. Kondisi kontrol menunjukkan bobot tajuk tertinggi dan panjang akar terpanjang yaitu secara berurutan sebesar 0,35 g dan 42,20 cm, sedangkan kondisi cekaman Al 0.9 mM menunjukkan bobot tajuk terkecil dan panjang akar terpendek secara berurutan yaitu 0,23 g dan 16,79 cm. Pada konsentrasi Al 0.5 mM dan 0.7 mM memperlihatkan berbeda tidak nyata untuk variabel bobot tajuk.

Tabel 2. Pengaruh Cekaman Al terhadap Bobot Tajuk dan Panjang Akar Tanaman Kedelai

Cekaman Al	Bobot Tajuk (g)	Panjang Akar (cm)
0 mM (kontrol)	0,35 a	42,20 a
0,5 mM	0,30 b	34,85 b
0,7 mM	0,29 b	27,77 c
0,9 mM	0,23 c	16,79 d

Keterangan :angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji 5% DMRT

Semakin tinggi konsentrasi cekaman Al akan menghambat pertumbuhan biomassa tanaman kedelai. Seperti yang dikemukakan oleh Kochian et al., (2005), genotipe-genotipe yang toleran memiliki kemampuan beradaptasi yang lebih baik untuk menghambat pengaruh keracunan Al dengan cara meningkatkan pH di sekitar perakaran dan mengeluarkan asam organik untuk mengikat Al^{3+} . Ditambahkan juga oleh Ye et al., (2011), genotipe toleran dapat mengubah kondisi perakaran dengan terbentuknya mucilage sehingga mencegah Al masuk ke dalam sel tanaman tersebut.

Tabel 3. Bobot Tajuk dan Panjang Akar Tujuh Varietas Kedelai

Varietas	Bobot Tajuk (g)	Panjang Akar (cm)
Tanggamus	0,33 abc	31,63 ab
Cikuray	0,26 cd	29,79 b
Lokal Malang	0,20 d	35,23 a
Ceneng	0,26 cd	28,89 b
Malika	0,29 bc	30,80 b
Detam 1	0,34 ab	27, 17 b
Detam 2	0,37 a	29,30 b

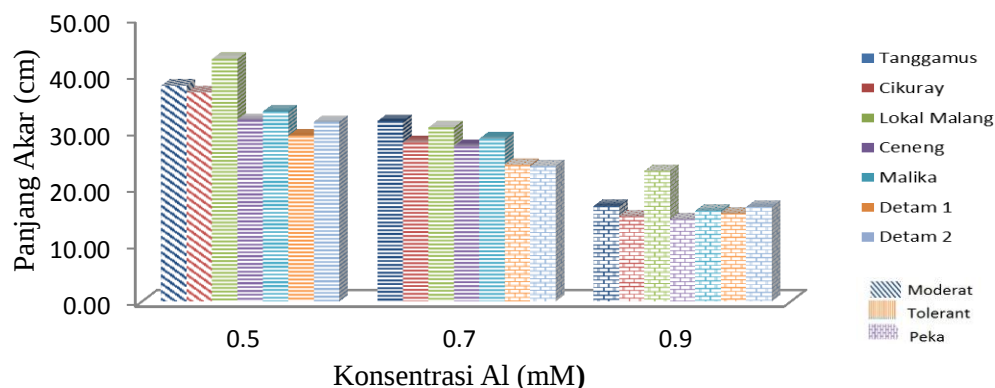
Keterangan : angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji 5% DMRT

Ketujuh varietas kedelai menunjukkan perbedaan secara signifikan, dimana varietas Detam 2 memiliki bobot tajuk lebih tinggi bila dibandingkan dengan keempat varietas kedelai lainnya, namun tidak berbeda nyata dengan varietas Tanggamus dan Detam 1. Sementara itu, pada variabel panjang akar varietas Lokal Malang menunjukkan berbeda nyata pada kelima varietas kedelai lainnya kecuali varietas Tanggamus yang menunjukkan tidak berbeda nyata (Tabel 3).

Bobot tajuk tertinggi diperoleh oleh varietas Detam 2 (0,37 g), kemudian diikuti oleh Detam 1 (0,34 g), Tanggamus (0,33g), Malika (0,29 g), Cikuray dan Ceneng (0,26 g), serta Lokal Malang (0,20 g). Sedangkan pada variabel panjang akar, varietas Lokal Malang memiliki panjang akar terpanjang yaitu sebesar 35,23 cm, kemudian diikuti oleh varietas Tanggamus (31,63 cm), Malika (30,80 cm), Cikuray (29,79 cm), Detam 2 (29,30 cm), Detam 1 (27,17 cm), dan Ceneng (28,89 cm). Menurut Silva *et al.* (2012), bahwa kemampuan memiliki akar lebih panjang menentukan tingkat toleransi varietas Tanggamus terhadap cekaman Al yaitu tanaman yang pertumbuhan akarnya tidak terganggu dalam keadaan tercekam aluminium.

Indeks Sensitivitas

Hasil analisis indeks sensitivitas panjang akar kedelai terhadap cekaman Al menunjukkan nilai yang sangat bervariasi. Penentuan indeks sensitivitas ini bertujuan untuk menentukan ambang batas toleransi (threshold) kedelai terhadap cekaman Al. Panjang akar merupakan variabel pengamatan yang biasanya digunakan sebagai gejala awal tanaman jika tercekam oleh aluminium. Seperti yang dikemukakan oleh Matsumoto dan Matoda (2012) serta Brian et al., (2013), perpanjangan akar merupakan gejala awal tanaman mengalami cekaman Al dimana setiap genotipe akan memberikan respon yang berbeda.



Gambar 1. Indeks sensitivitas ketujuh varietas kedelai terhadap cekaman aluminium pada variabel panjang akar

Indeks sensitivitas varietas Tanggamus dan Cikuray relatif lebih toleran dibandingkan dengan kelima varietas lainnya pada konsentrasi Al 0.5 mM. Varietas Tanggamus dan Cikuray yang sebelumnya toleran pada konsentrasi Al 0.5 mM berubah menjadi moderat (0.7 mM Al) dan peka (0.9 mM Al). Sementara itu, Varietas Detam 1 dan Detam 2 pada konsentrasi Al 0.5 mM bersifat moderat berubah menjadi peka pada konsentrasi Al 0.7 mM dan 0.9 mM (Gambar 1 dan 2). Menurut Smith *et al.* (2011), menyatakan bahwa keragaan akar tanaman dikaitkan dengan kemampuan tanaman untuk beradaptasi pada saat mengalami cekaman Al.



Gambar 2. Keragaan akar varietas Tanggamus. A = 0.5 mM Al; B = 0.7 mM Al; dan C = 0.9 mM Al.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa varietas Tanggamus dan Cikurey toleran pada 0.5 mM Al, moderat pada 0.7 mM Al, dan peka pada 0.9 mM Al.; dan varietas Detam 1 dan Detam 2 moderat pada 0.5 mM Al, dan peka pada kondisi 0.7 mM dan 0.9 mM Al.

SANWACANA

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Universitas Bengkulu. Penelitian ini didanai oleh PNPB Universitas Bengkulu Tahun 2022 dengan nomor kontrak 23999/UN30.11/PM/2020

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraito, Y.U. 2012. Transformasi genetik *Nicotiana benthamiana* L dan kedelai dengan gen MaMt2 penyandi metallothioneintipe II dari *Melastoma malabathricum* L. Disertasi. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor.
- Badan Litbang Pertanian. 2012. Hasil riset varietas unggul. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Badan Pusat Statistik. 2020. Kedelai langka, pemerintah harus fokus pada peningkatan produktivita. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20210105/12/1338923/kedelai-langka-pemerintah-harus-fokus-pada-peningkatan>. Diakses 05 Januari 2021.
- Bian, M., M. Zhua, D. Sunb, and C. Lic. 2013. Molecular approaches unravel the mechanism of acid soil tolerance in plants. *Crop Journal*. 1: 91-104.
- Brian, M., M. Zhou, D. Sun, and C. Li. 2013. Molecular approaches unravel the mechanism of acid soil tolerance in plants. *Crop J*. 1:91-104.
- Damanik, M.M.B., Hasibuan, B.E., Fauzi., Sarifuddin., dan Hanum, H., 2010. Kesuburan Tanah Dan Pemupukan. USU Press, Medan. Hal 166- 16.
- Fauzi, A.R., dan M.D. Puspitawati. 2018. Cultivation of soybean of Burangrang variety in dry land. *Jurnal Bioindustri*. 1(1): 1-9.
- Fried, H.G., S. Narayanan, and B. Fallen. 2018. Characterization of a soybean (*Glycine max* L. Merr.) germplasm collection for root traits. *PLoS ONE* 13(7): e0200463. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200463>. Diakses 30 Januari 2020.
- Garuda, S.R., Y. Baliadi, dan M.S. Lestari. 2017. Pengembangan kedelai di Papua: Potensi lahan, strategi pengembangan, dan dukungan kebijakan. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 36(1):47-58.
- Indrayani, S., Y.G.D. Anggraheni, H. Wibowo, dan E.S. Mulyaningsih. 2017. Pengujian padi gogo terhadap keracunan aluminium di lapangan dan skala rumah kaca dalam dua generasi. *Prosiding Seminar Nasional Padi 2016*. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, 655–664.
- Matsumoto, H. and H. Motoda. 2012. Aluminum toxicity recovery processes in root apices. Possible assoation with oxidative stress. *Plant Sci. J*. 185-186: 1-8.
- Mulyani, A., S. Ritung, dan I. Las. 2011. Potensi dan ketersediaan sumberdaya lahan untuk mendukung ketahanan pangan. *J. Litbang Pertanian*. 30:73-80.
- Silva, S., O.P. Carnide, P.M. Lopes, M. Matos, H.G. Pinto, and C. Santos. 2012. Zonal responses of sensitive vs tolerant wheat roots during Al exposure and recovery. *J. Plant Physiol*. 169:760-769.
- Smith, E., D. Naik, and J.R. Cumming. 2011. Genotypic variation in aluminum resistance, cellular aluminum fraction, callosa and pectin formation and organic acid accumulation in roots of populus hybrids. *Environ. Exp. Bot*. 72:182-193.
- Ye, Y., W. Qiaolan, G. Mingjian, G. Zaihua, and Z. Zhuqing. 2011. Al induced root cell wall chemical compoenents differences of wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in Al tolerance. *Affric. J. Agric. Research* 10:6762-6772.