

DETEKSI DINI TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN SEMAIAN KARET (*Hevea brasiliensis*) GT1 DENGAN POLIETILEN GLIKOL 6000

*Early Detection of Drought Stress Rubber Seedling
(Heveabrasiliensis) of GT1 Using Polietylen Glycol 6000*

Syarifah Aini Pasaribu dan Radite Tistama

Balai Penelitian Sungei Putih, Sungei Putih-Galang Deli Serdang
PO Box 1415 Medan 20001, Indonesia
Email: aini_0281@yahoo.com

Diterima 27 Agustus 2019/ Direvisi 14 Oktober 2019 / Disetujui 30 November 2019

Abstrak

Sistem perakaran suatu tanaman dapat dijadikan sebagai indikator sifat toleran kering. Evaluasi perakaran batang bawah toleran kering diyakini dapat membantu menyiapkan sistem perakaran yang kuat pada kondisi tercekam. Deteksi awal dengan larutan osmotikum dilakukan untuk mengontrol potensial air pada media penanaman secara cepat. Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari-April 2019 menggunakan larutan osmotikum untuk uji ini adalah *Polyethilen glikol* 6000 (PEG 6000). Penelitian disusun dengan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan dua faktor. Faktor pertama adalah konsentrasi PEG 6000 yang terdiri dari tiga taraf yaitu = 0%, = 0,25%, 0,5%. Faktor kedua adalah lama perendaman yang terdiri dari tiga taraf yaitu T1= 7 jam, T2=12 jam, T3= 24 jam. Parameter yang diamati adalah panjang akar tunggang, tinggi tunas, rasio panjang akar tunggang dan tinggi tunas serta K^+ total dari biomassa tanaman. Data dianalisis menggunakan analisis ragam, diskriminan dan indeks sensitivitas cekaman kekeringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berbagai konsentrasi larutan PEG 6000 berpengaruh terhadap semua karakter pengamatan. Berdasarkan lama perendaman dan interaksi antar perlakuan memberikan pengaruh terhadap semua karakter kecuali rasio panjang akar tunggang dan tinggi tunas. PEG 6000 dapat digunakan sebagai deteksi

awal tanaman semaian batang bawah karet untuk mempelajari sifat toleransi terhadap induksi cekaman kekeringan. Konsentrasi PEG yang tepat untuk deteksi toleransi kekeringan akar tanaman karet masih perlu diuji lagi.

Kata kunci: deteksi dini, semaian karet, *polietilen glikol* 6000, kekeringan, in vitro

Abstract

The plant root system can be used as an indicator of drought tolerant. Evaluation of drought tolerant rootstocks is proofed help the preparartion of strong root system in stress conditions. Early detection with osmotic solution held to rapidly control the water potential in planting medium quickly. The study was conducted in January-April 2019. Polyethylene glycol 6000 is the osmotic material used. The first factor is PEG 6000 concentration, consists of three levels, namely PEG 6000 = 0%, PEG 6000 = 0.25%, PEG 6000 = 0.5%. The second factor is time immersion, consists of three levels, namely T1 = 7 hours, T2 = 12 hours, T3: 24 hours. The parameters observed were tap root length, shoot height, tap root length and shoot height ratio and K^+ total of biomass. Data were analyzed using analysis of variance, discriminant and drought stress sensitivity index. The results showed that the addition of PEG 6000 influenced all observational characters. Based on the immersion time and interaction between treatments gave effect to all characters except the ratio of tap root length and shoot height. PEG 6000 can be used as an early detection of rubber rootstock to study

of tolerance to drought stress induction. The PEG concentration should be optimized for drought tolerance selection in rubber tree rootstock.

Keywords: early detection, rubber seedlings, poliethylen glykol-6000, drought, in vitro

Pendahuluan

Pengembangan batang bawah toleran kering sangat membantu pertumbuhan batang atas. Seleksi awal biji batang bawah karet toleran kering diyakini belum optimal dilakukan saat ini sehingga perlu dipelajari cara deteksi yang cepat dan akurat untuk toleransi kekeringan. Cekaman kekeringan merupakan salah satu cekaman abiotik yang umum ditemukan di perkebunan karet akibat terbatasnya ketersediaan air. Deteksi awal cekaman kekeringan dapat dilakukan dengan menggunakan larutan osmotikum karena dapat mengontrol potensial air pada media tanam. Salah satu jenis bahan osmotikum yang digunakan adalah *polietilen glikol* (PEG) (Verlues *et al.*, 2006). PEG adalah senyawa stabil, non ionik, polimer panjang larut dalam air, dan dapat digunakan dalam sebaran molekul yang luas. PEG juga mengontrol potensial air serta tidak bersifat racun bagi tanaman melalui aktivitas matriks sub unit etilen oksida ($\text{CH}_2\text{-O-CH}_2$) yang mengikat molekul air dengan ikatan hidrogen (Asay & Jhonson, 1983).

Pemberian larutan PEG 6000 (Widoretno *et al.*, 2010) pada konsentrasi 5-20% secara *in-vitro* dapat mengakibatkan potensial osmotik terhambat dengan kondisi tanah pada kapasitas lapang pada beberapa tanaman, seperti padi (Akbar *et al.*, 2018; Nazirah *et al.*, 2015; Abiri *et al.*, 2016; Banyo *et al.*, 2013; Ai *et al.*, 2010, Afa *et al.*, 2013), kedelai (Savitri, 2010; Zuyasna *et al.*, 2016), tomat (Harahap *et al.*, 2013), jewawut (Mapikasari *et al.*, 2017), jagung (Efendi, 2009; Badami & Amzeri, 2011), andalas (Idris & Mansyurdin, 2010), terung (Sinaga *et al.*, 2015), kacang hijau (Yasar *et al.*, 2014), gandum (Ozturk *et al.*, 2016), pisang raja (Irawan *et al.*, 2015). Reduksi perkecambahan terjadi lebih besar dengan penambahan PEG 6000 pada konsentrasi 15%

pada tanaman serealia, pangan dan sayuran (Guo *et al.*, 2013).

Metode pada penelitian ini adalah perkecambahan dalam larutan osmotikum. Uji pendahuluan untuk menentukan konsentrasi PEG 6000 dalam induksi cekaman kekeringan menunjukkan hasil berbeda dengan uji-uji pada tanaman lainnya. Uji toleransi karet terhadap kekeringan pada fase bibit umur 21 hari (karet dalam semaian) pada konsentrasi 7,5% dan 15% PEG 6000 dalam waktu 3,5 jam dan 7 jam menunjukkan akar, batang, daun layu dan menghitam. Demikian juga dengan uji berikutnya dengan penurunan konsentrasi PEG 6000 menjadi 3,75% dan 1%, diperoleh hasil yang sama dengan uji sebelumnya (*Data tidak dipublikasi*). Konsentrasi di bawah <1% (0,25% dan 0,5%) menghasilkan tingkat cekaman kekeringan yang ringan yang pada akhirnya menyebabkan tanaman mampu tumbuh dan berkembang setelah direndam >7 jam dan dipelihara selama 7 hari

Beberapa hal yang terlihat di awal fase vegetatif tanaman yang mengalami cekaman kekeringan adalah pertumbuhan akar lebih jauh ke dalam, percabangan akar banyak, dan volume akar besar (Sobrado, 2007). Sistem perakaran batang bawah dapat dijadikan indikator untuk melihat kemampuan adaptasi pada lingkungan tercekam. Efek dari cekaman kekeringan diantaranya adalah pertumbuhan dan perkembangan tanaman terhambat, seperti laju pertumbuhan lilit batang dan tebal kulit menjadi lebih lambat sehingga waktu matang sadap lama (>enam tahun). Pengembangan jenis batang bawah toleran kering diyakini dapat menyiapkan sistem perakaran yang kuat pada kondisi tercekam. Faktor fisiologis yang dapat dijadikan indikator adalah kandungan unsur kalium (K^+) dalam jaringan. Unsur tersebut merupakan salah satu hara yang berperan dalam sistem pertahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan. Kalium terlibat dalam memelihara status air tanaman dan tekanan turgor sel, pengaturan osmotik sel, stabilitas pH dan proses transpor membran untuk penyerapan air dan unsur hara (Marschner, 1995).

Seleksi secara *in-vitro* untuk sifat toleransi terhadap cekaman kekeringan mempunyai keunggulan komparatif diantaranya: waktu seleksi lebih singkat, tidak membutuhkan ruang besar, dan mudah dikontrol. Jenis biji batang bawah yang banyak terdapat di lapangan diantaranya GT1 karena klon GT1 memiliki sifat lebih adaptif pada beberapa lingkungan tumbuh. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi beberapa karakter morfologi, kandungan K⁺ dalam tanaman, dan indeks sensitivitas dari semai biji GT1 dengan pemberian PEG-6000 dengan variasi lama perendaman serta deteksi dini toleransi terhadap kekeringan pada semai GT1 dalam rangka untuk memperoleh calon batang bawah yang toleran cekaman kekeringan.

Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca dan laboratorium fisiologi Balai Penelitian Sungei Putih dari bulan Januari-April 2019. Bahan tanam yang digunakan adalah biji GT1. Bahan untuk media meliputi larutan 1/8 MS (*Murashige and Skoog*), NaOH 0,1N, PEG-6000, kloroform, metanol, akuades, dan etanol. Alat yang digunakan adalah AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*), *grinding machine* (foss), pH meter, oven, timbangan analitik, label nama, alat tulis dan lainnya. pH media tanam diukur dengan menambahkan NaOH 0,1N untuk menetapkan pH menjadi 5,8.

Penelitian disusun dengan menggunakan rancangan acak kelompok faktorial (RAK) dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah konsentrasi larutan PEG 6000 yang terdiri dari tiga taraf yaitu PEG 6000= 0%, PEG 6000= 0,25%, PEG 6000=0,5%. Faktor kedua adalah waktu perendaman yang terdiri dari tiga taraf yaitu T1= 7 jam, T2=12 jam, T3: 24 jam. Bila dalam pengujian sidik ragam diperoleh perlakuan berbeda nyata dilakukan uji jarak *Tukey* (Montgomery, 2001).

Pelaksanaan Penelitian

Biji dikecambahkan dalam media pasir selama 21 hari (*stadia jarum*). Media tanam

untuk uji berupa larutan media 1/8 Murashige & Skoog (1963) cair yang masing-masing ditambah PEG 6000 untuk mendapatkan konsentrasi 0%, 0,25% dan 0,5%. Biji yang telah berkecambah diletakkan di atas kawat plastik dan dipindahkan ke dalam wadah yang telah diisi 10 liter media 1/8 MS cair dan larutan PEG 6000 sesuai konsentrasi. Wadah dilengkapi dengan aerator untuk mengalir oksigen. Karakter-karakter yang diamati terdiri dari karakter morfologi yaitu panjang akar tunggang, tinggi tunas, rasio akar tunggang dan tinggi tunas, dan karakter fisiologi serta kandungan K⁺total. Panjang akar tunggang diukur setiap hari dengan menggunakan meteran kain yang dimulai dari leher akar sampai ujung akar tunggang dengan satuan sentimeter selama tujuh hari. Tinggi tunas diukur mulai dari titik tumbuh sampai leher akar dengan satuan centimeter selama tujuh hari. Rasio panjang akar tunggang dan tunas diukur dengan membandingkan nilai panjang akar tunggang dan tinggi tunas. Analisis K⁺total dilakukan dengan mengambil seluruh bagian tanaman (akar, batang, daun) dicuci bersih, kemudian dipotong kecil-kecil, ditimbang dengan seksama sampel ± 5 gram dari seluruh bagian tanaman segar kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 1,5 jam. Sampel dimasukkan ke dalam 500 ml air dan dididihkan selama 15 menit. Ekstrak sampel didinginkan lalu dimasukkan dalam labu ukur dan ditepatkan dengan akuades sampai volume 500 ml. Analisis K⁺di dalam filtrat mengacu pada Metode SSA.

Analisis data yang dilakukan adalah analisis ragam sesuai rancangan percobaan yang digunakan. Indeks sensitivitas cekaman kekeringan (ISK) (Fischer & Maurer, 1978) dihitung dengan rumus: $ISK = (1 - Y_c / Y_o) / (1 - X_c / X_o)$. Y_c adalah rata-rata genotipe tertentu pada kondisi cekaman kekeringan, Y_o: rata-rata suatu genotipe pada kondisi optimum, X_c: rata-rata dari seluruh genotipe pada kondisi cekaman kekeringan, dan X_o: rata-rata dari seluruh genotipe pada kondisi optimum. Kriteria untuk menentukan tingkat toleransi terhadap cekaman kekeringan Nilai ISK dijadikan dasar untuk menentukan pengelompokan sifat toleransi kekeringan dari

biji yang diuji. Jika nilai $ISK \leq 0,5$ maka genotipe tersebut toleran, jika $0,5 < ISK \leq 1,0$ maka genotipe tersebut moderat, dan jika $ISK > 1,0$ maka genotipe peka (Widyastuti *et al.*, 2016). *Software* yang digunakan untuk analisis ragam, dan analisis diskriminan adalah Microsoft excel 2010 dan Minitab-16.

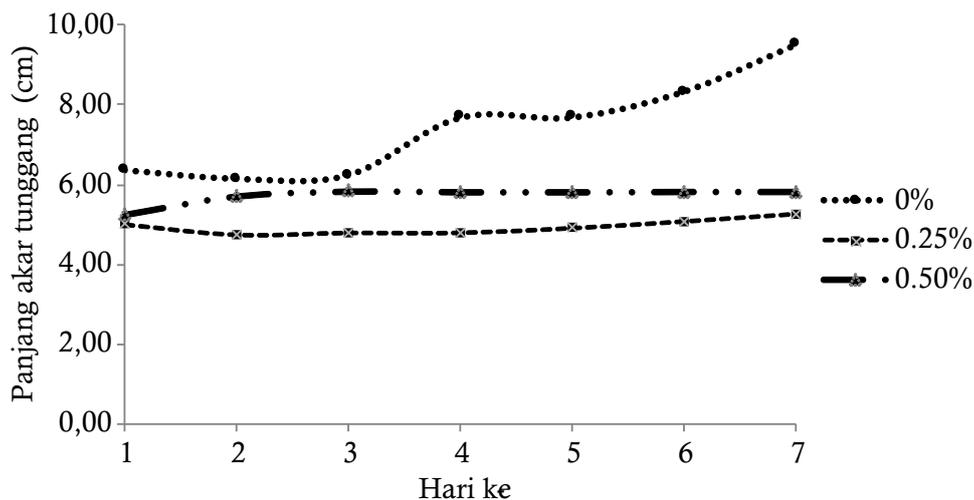
Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Konsentrasi PEG 6000 Terhadap Pertumbuhan Semaian Karet Gt1

Perlakuan PEG 6000 mempengaruhi pertumbuhan akar tunggang (cm) dari semaian GT1. Kontrol perlakuan PEG 6000 0% selama tujuh hari memiliki akar tunggang yang lebih panjang dibandingkan dengan perlakuan 0,25% dan 0,5%. Rata-rata panjang akar tunggang dari hari pertama sampai ketujuh pada perlakuan PEG 6000 0% = 7,41 cm, PEG 6000 0,25% = 4,73 cm dan PEG 6000 0,5% = 5,71 cm. Pertumbuhan akar pada kondisi normal (PEG 0%) cukup beragam yang digambarkan dari nilai koefisien variasi (CV) sebesar 17,00%, sedangkan pertumbuhan akar pada perlakuan PEG 0,25% dan 0,5% terlihat cukup homogen dengan nilai CV lebih besar dari 3%.

PEG 6000 mempengaruhi pertumbuhan akar dalam menyerap air dan hara yang ditambahkan pada media tanam. Pemberian PEG 0,25% dan 0,5% menghambat pertumbuhan akar tunggang karet klon GT1 pada saat semaian. Laju pertumbuhan akar pada beberapa konsentrasi PEG 6000 menurun seiring meningkatnya konsentrasi PEG (Gambar 1). Peningkatan konsentrasi PEG menyebabkan air semakin sulit untuk diserap oleh akar. Akar merupakan organ tanaman yang pertama menerima rangsangan rendahnya air yang tersedia di dalam media. Secara umum, jika suatu tanaman memiliki tingkat toleransi yang baik terhadap cekaman air maka akan memperlihatkan persentase penurunan panjang akar dan tunas yang relatif kecil (Nazirah *et al.*, 2015). Panjang akar merupakan salah satu karakter morfologi yang terkait dengan ketahanan terhadap kekeringan (Torey *et al.*, 2013). Panjang akar merupakan salah satu kriteria yang dapat digunakan untuk mengetahui luas daerah jangkauan akar dalam mencari sumber daya air termasuk unsur-unsur hara dan kriteria ini dipengaruhi oleh jumlah ketersediaan air yang ada (Munarso, 2011).

Tinggi tunas semaian karet GT1 dengan perlakuan PEG 6000 (%) menunjukkan hasil



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi PEG 6000 terhadap panjang akar tunggang semaian GT1 di media cair 1/8 MS (*Murashige and skoog*) pada pengamatan hari pertama sampai hari ketujuh.

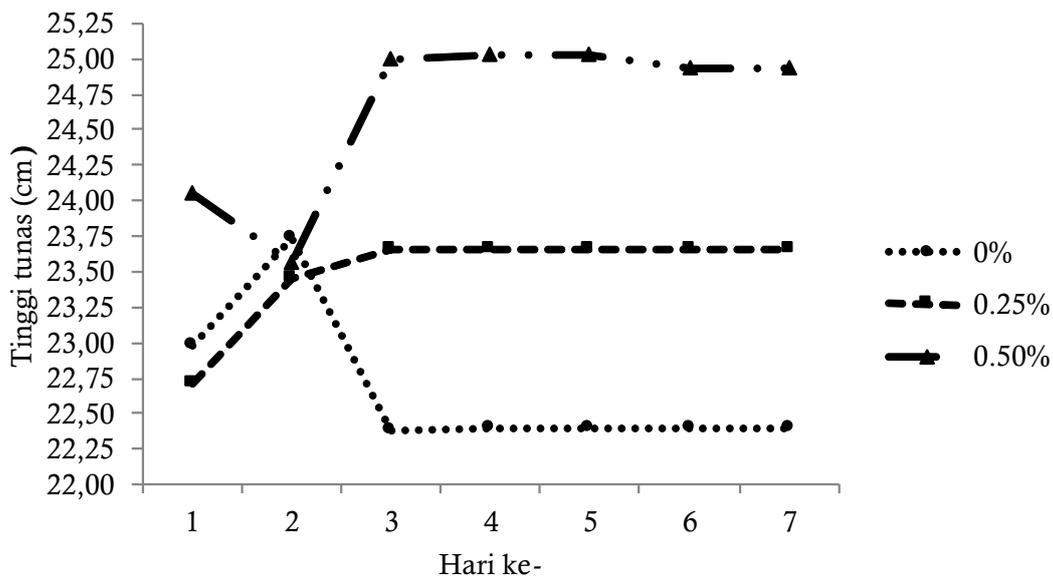
yang berbeda dengan panjang akar tunggang. Tinggi tunas semaian karet GT1 pada hari ke 7 lebih tinggi ketika ditambahkan PEG 6000 baik itu pada konsentrasi 0,25% ataupun 0,5% dibandingkan tanpa penambahan PEG 6000 (0%). Rata-rata tinggi tunas pada perlakuan PEG 6000 0%= 22,39 cm, PEG 6000 0,25%=23,49 cm, PEG 6000 0,5% = 23,56 cm (Gambar 2).

Pertambahan tinggi tunas pada semaian karet GT1 sejak hari ke 3 tidak oleh penambahan PEG 6000 pada media tanam (Gambar 2). Dugaan awal karena cadangan nutrisi untuk pertumbuhan tunas masih tersedia di dalam kotiledon yang belum terganggu oleh PEG 6000. Hal ini juga terbukti dengan nilai CV yang homogen untuk semua perlakuan yaitu 1-2%.

Rasio panjang akar tunggang dan tinggi tunas semaian karet GT1 dengan perlakuan beberapa konsentrasi PEG 6000 menunjukkan hasil yang berbeda antar perlakuan. Rata-rata rasio panjang akar tunggang dan tunas lebih besar pada perlakuan PEG 0% dibandingkan 0,25% dan 0,5%. Rata-rata rasio panjang akar tunggang dan tinggi tunas pada perlakuan PEG 6000-0%= 3,62, PEG 6000-0,25%= 4,77, dan PEG 6000-0,5%= 4,32. Rasio panjang

akar tunggang dan tinggi tunas pada kondisi normal (PEG 0%) cukup beragam yang terlihat dari nilai CV sebesar 17,85% dan sedangkan rasio panjang akar tunggang dan tinggi tunas pada perlakuan PEG 6000-0,25% dan 0,5% cukup homogen dengan nilai CV > 3% dan 4%.

Perubahan rasio panjang akar dan tunas juga diamati pada tanaman gandum (Nio & Kandou, 2000). Peningkatan rasio akar dan tunas diduga menguntungkan bagi tanaman karena dapat memperbesar kapasitas sistem perakaran untuk mengambil air lebih banyak tiap satuan luas daun (Passioura, 1981). Rasio akar dan tunas, juga merupakan peubah yang cukup banyak digunakan pada beberapa tanaman pangan untuk melihat tingkat ketahanan terhadap cekaman kekeringan. Hal ini tercermin dari hasil analisis yang dilakukan menunjukkan perbedaan yang signifikan antar perlakuan yang diberikan. Nio *et al.* (2010) menyatakan bahwa dari enam karakter yang dievaluasi saat evaluasi toleransi cekaman kekeringan pada fase perkecambahan padi menunjukkan hasil bahwa rasio panjang akar seminal dan panjang tunas yang dapat dijadikan sebagai indikator. Hal yang sama juga dilaporkan pada tanaman gandum oleh

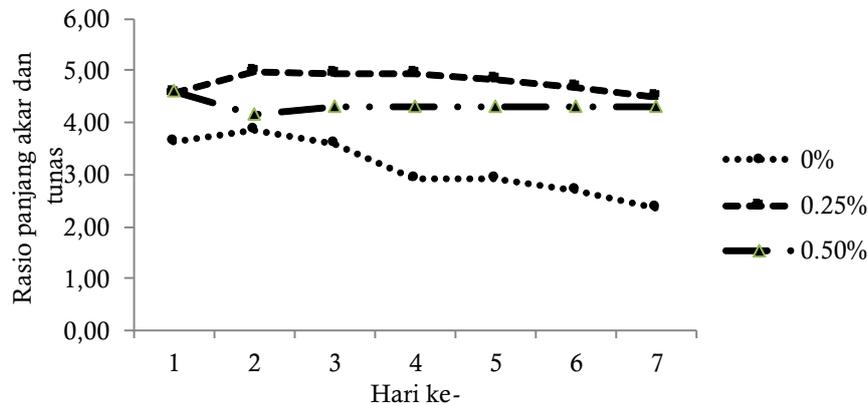


Gambar 2. Pengaruh konsentrasi PEG 6000 terhadap tinggi tunas (cm) semaian GT1 semaian GT1 di media cair 1/8 MS (*Murashige and skoog*) pada pengamatan hari pertama sampai hari ketujuh

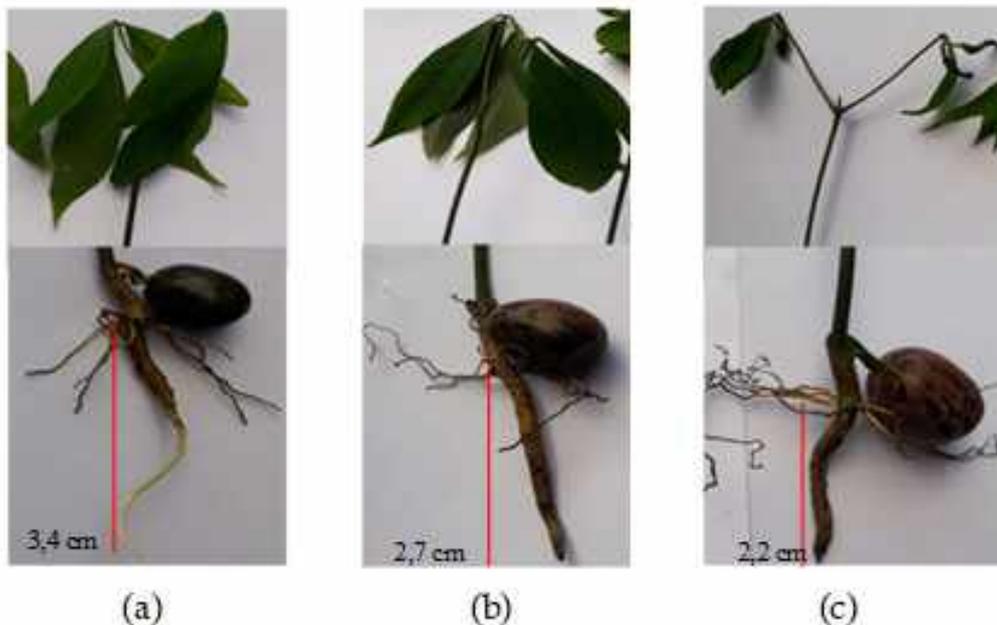
Dhanda *et al.* (2004). Peningkatan rasio pada saat cekaman kekeringan disebabkan oleh terbatasnya pasokan air dan nutrisi untuk tunas dan adanya sinyal hormonal yang diinduksi akar untuk menghadapi cekaman kekeringan (Sharp & Davis, 1989). Rasio pertumbuhan akar tunggang dan tinggi tunas secara jelas dapat dilihat pada Gambar 3.

Hal lainnya yang diamati untuk mendukung penelitian ini adalah pengamatan kualitatif dengan mengamati perubahan visual

terhadap morfologi tanaman. Hasil pengamatan visual memperlihatkan semakin tinggi konsentrasi PEG 6000 yang ditambahkan pada media tanam maka akar dan tunas semai GT1 yang terlihat semakin rusak secara visual (Gambar 4). Hal tersebut diduga akibat efektivitas PEG 6000 terhadap fungsi minimalisasi masuknya air ke jaringan tanaman mulai terlihat dan pada konsentrasi 0,50% sebagian jaringan akar mengalami plasmolisis. Ujung akar terlihat mulai



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi PEG 6000 terhadap rasio panjang akar tunggang dan tunas semai GT1 di media cair 1/8 MS (*Murashige and skoog*) pada pengamatan hari pertama sampai ketujuh



Gambar 4. Morfologi tajuk dan akar tanaman setelah diperlakukan dengan beberapa konsentrasi PEG 6000 a. 0%, b. 0,25%, dan c. 0,5%

menghitam yang selanjutnya akan beradaptasi membentuk kembali jaringan muda, namun pertumbuhannya lambat bila dibandingkan dengan kontrol. Daun semaian karet tidak dapat berkembang secara sempurna pada konsentrasi PEG 0,5%, karena ketersediaan air yang kurang dalam proses perkembangan daun.

Kalium merupakan salah satu unsur hara esensial yang diperlukan oleh tanaman untuk pertumbuhan. Peran K^+ dalam tanaman adalah merangsang pertumbuhan akar, terlibat dalam pembentukan karbohidrat, translokasi gula dan pembentukan jaringan xilem. K^+ juga mempunyai peranan sebagai sumber kekuatan dalam menghadapi kekeringan. K^+ terlibat dalam memelihara status air tanaman dan tekanan turgor sel serta membuka dan menutupnya stomata. Kalium erat kaitannya dengan pengaturan osmotik sel, stabilitas pH dan proses transpor membran dalam penyerapan air dan unsur hara (Marschner, 1995).

Analisis konsentrasi K^+ total pada beberapa perlakuan PEG 6000 menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi K^+ total biomassa adalah terlihat relatif sama yaitu 1,60% (PEG 6000-0%), 1,69% (PEG 6000-0,25%) dan 1,62% (PEG 6000-0,5%). Hasil ini didukung oleh nilai koefisien variasi yang tergolong homogen (CV: < 10%). Kandungan K^+ total mulai meningkat ketika biji diperlakukan dengan PEG 6000 yang memperlihatkan adanya respon semaian dalam menanggapi perlakuan induksi kekeringan. Peran K^+ dalam toleransi tanaman terhadap kekeringan dapat diamati dalam regulasi stomata, energi level, sintesis protein, dan keseimbangan internal (homeostasis) (Yasar *et al.*, 2014). Pada saat yang sama, K^+ dapat mencegah kerusakan akibat kekeringan dengan mempertahankan tekanan turgor dan mengurangi transpirasi (Yasar *et al.*, 2006).

Akumulasi K^+ lebih penting daripada produksi bagi tanaman untuk melindungi diri dari kekeringan karena lebih banyak energi yang dihasilkan selama keseimbangan osmotik saat penyerapan ion, seperti K^+ . Keseimbangan osmotik tinggi memiliki

jumlah akumulasi K^+ yang tinggi diperoleh pada tanaman gandum yang diperlakukan cekaman kekeringan (Morgan, 1992). Akumulasi K^+ dalam tanaman kacang, ketika stres, berfungsi untuk melindungi tanaman dari kekeringan oleh regulasi stomata, keseimbangan osmotik, sintesis protein, tekanan turgor, dan pengurangan transpirasi. Ini terjadi karena K^+ adalah kofaktor lebih dari 40 enzim. Pada tanaman kacang yang mengalami stres cenderung mentransfer ion K^+ yang diserap ke daun sehingga dapat mengelola enzim dengan lebih baik (Yasar *et al.*, 2014).

Hasil uji statistik akibat penambahan PEG 6000 pada media tanam terhadap semua karakter amatan menunjukkan pengaruh nyata (panjang akar tunggang, tinggi tunas, rasio panjang akar tunggang dan tinggi tunas serta K^+ total). Hasil uji beda nyata dari karakter-karakter yang diamati dapat dilihat pada Tabel 1. Pertumbuhan akar terhambat pada media yang ditambahkan PEG 6000 baik pada konsentrasi 0,25% ataupun 0,5%. Diduga PEG 6000 dapat mengkarakterisasi tanggap tanaman terhadap cekaman air dengan memperlihatkan respon pada semaian karet GT₁.

Pertumbuhan tunas juga memperlihatkan pengaruh yang nyata, namun pengaruhnya berbanding terbalik dengan pertumbuhan akar. Hasil tersebut diduga karena cadangan makanan yang ada didalam biji masih cukup yang tersimpan dalam kotiledon untuk membantu aktivitas pertumbuhan dan perkembangan tunas pada media ketika sudah ditambahkan PEG 6000. Rasio panjang akar tunggang dan tinggi tunas serta kandungan K^+ total juga terlihat dipengaruhi oleh penambahan PEG 6000. Hal ini diduga karena karakter tersebut sangat dipengaruhi oleh waktu pemeliharaan tanaman. Semakin lama suatu tanaman dipelihara dalam media tersebut, tanaman semakin sulit untuk menyerap nutrisi dan air yang ada dalam media.

PEG akan menurunkan potensial air secara homogen yang dapat digunakan untuk mencontoh besarnya potensial air tanah. PEG

Tabel 1. Pengaruh beberapa konsentrasi PEG 6000 terhadap panjang akar tunggang (cm), tinggi tunas (cm), rasio akar dan tunas serta K⁺ total pada semaian karet GT1.

Karakter amatan	Konsentrasi PEG 6000 (%)	Hari ke						
		1	2	3	4	5	6	7
Panjang akar tunggang (cm)	0,00	3,8a	3,7a	3,5a	4,6a	4,9a	5a	5,7a
	0,25	3,8a	2,8a	2,9a	2,9b	2,9b	3b	3,1b
	0,50	3,1a	3,4a	3,5a	3,5b	3,5ab	3,5b	3,5b
Tinggi Tunas (cm)	0,00	13,7b	13,6a	12,9a	12,9a	18,0a	12,9a	12,9a
	0,25	13,5b	14,4a	14,6a	14,6a	14,6b	14,6a	14,6a
	0,50	14,5b	13,8a	13,8a	14,6a	14,6b	14,6a	13,7a
Rasio panjang akar dan tunas	0,00	0,3a	0,3a	0,3a	0,4a	0,4a	0,4a	0,4a
	0,25	0,2a	0,2a	0,2a	0,2b	0,2b	0,2b	0,2b
	0,50	0,2a	0,2a	0,2a	0,2b	0,2b	0,2b	0,2b
K ⁺ Ttotal	0,00				1,6b			
	0,25				1,7a			
	0,50				1,6b			

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut uji Tukey.

dengan bobot molekul lebih dari 4000 dapat menginduksi stres air pada tanaman. Air akan terikat oleh senyawa PEG dan hanya sebagian kecil air yang tersedia. Kondisi kekurangan air pada lingkungan bibit akan mengakibatkan jumlah air yang dapat diserap menjadi menurun dan menyebabkan penurunan perkecambahan (Rahayu *et al.*, 2010). Perkecambahan benih dalam larutan PEG merupakan metode penyaringan tidak langsung untuk ketahanan terhadap cekaman kekeringan karena tekanan osmotik larutan tersebut jauh lebih tinggi dari tekanan osmotik air murni (Effendi, 2008). Semakin pekat konsentrasi PEG maka semakin banyak sub unit-etilen mengikat air sehingga air tersedia menjadi sangat berkurang. Tanaman yang semakin kuat menghadapi cekaman osmotik tinggi maka tanaman tersebut akan semakin tahan dalam menghadapi cekaman kekeringan. PEG dalam hal ini hanya bersifat membatasi proses imbibisi tidak meracuni benih (Ogawa and Yamaguchi, 2006, Mapikasari *et al.*, 2017). Perkecambahan benih dalam larutan PEG merupakan metode seleksi tidak langsung untuk ketahanan cekaman kekeringan karena tekanan osmotik larutan lebih tinggi dari tekanan osmotik air murni (Verslues *et al.*, 2006).

Pengaruh Lama Perendaman terhadap Pertumbuhan Semai Karet Gt1

Lama perendaman mempengaruhi pertumbuhan akar tunggang semai GT1 selama tujuh hari. Rata-rata panjang akar tunggang pada perendaman 7, 12, dan 24 jam berturut-turut 1,75, 3, dan 6 cm. Waktu perendaman yang semakin lama memperpanjang akar tunggang. Nilai pertambahan panjang akar tunggang setiap waktu pengamatan terlihat cukup homogen yaitu dengan nilai CV=8,67%. Pertumbuhan akar tunggang selama 7, 14 dan 24 jam lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Demikian juga halnya dengan karakter tinggi tunas. Tinggi tunas terlihat semakin tinggi saat waktu perendaman lebih lama. Rata-rata tinggi tunas pada perendaman 7 jam= 6,82, 12 jam=11,69 cm dan 24 jam=23,38 cm. Hasil pertumbuhan tunas juga terlihat homogen dengan nilai CV= 0,81%. Pertumbuhan tinggi tunas pada beberapa waktu perendaman dapat dilihat pada Tabel 2.

Rasio panjang akar tunggang dan tinggi tunas menunjukkan hasil yang sama antar beberapa waktu perendaman dengan rata-rata sebesar 0,26 cm untuk 7 jam, 12 jam dan 24

jam. Hasil rasio ini juga terlihat homogen dengan nilai CV= 9-10%. Rasio panjang akar tunggang dan tinggi tunas dapat dilihat pada Gambar 6. Hasil dari Tabel 2 menunjukkan bahwa ada dua waktu yang berhimpitan pola garis hubungunya karena nilai rasio yang diperoleh sama yaitu pada waktu perendaman 12 dan 24 jam.

Lamanya waktu perendaman semaian karet GT1 pada media tanam yang ditambahkan larutan osmotikum PEG 6000 menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata terhadap tiga karakter amatan dan tidak nyata pada karakter rasio panjang akar tunggang dan tinggi tunas setelah dianalisis secara statistik (Tabel 2). Pengaruh waktu amatan ini dicerminkan dari rata-rata laju pertumbuhan yang diinput setiap hari untuk masing-masing waktu perendaman (7, 12, 24 jam). Waktu pemeliharaan pada media tanam yang lama menunjukkan tanaman terus tumbuh dan berkembang. Laju pertumbuhan semaian karet GT1 untuk setiap jamnya terlihat lambat jika semakin lama digunakan media tanam dengan konsentrasi PEG 6000 yang lebih tinggi.

Pengaruh Interaksi Beberapa Konsentrasi PEG 6000 dan Waktu Perendaman Semaian Gt1

Intraksi antara perlakuan PEG 6000 dan waktu perendaman menunjukkan pengaruh nyata pada karakter panjang akar tunggang, tinggi tunas, dan kandungan K⁺ total (Tabel 3). Ini menunjukkan bahwa ada hubungan antar ketiga karakter dengan perlakuan yang diberikan. Hasil interaksi menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi PEG 6000 dan semakin lama waktu perendaman maka semakin rendah rata-rata panjang akar tunggang dan rasio panjang akar tunggang dan tinggi tunas. Penurunan pertumbuhan akar diduga akibat penambahan PEG 6000. PEG 6000 dapat mengikat air sehingga pada media tanam kurang tersedia bagi tanaman. Semakin pekat konsentrasi PEG maka semakin besar sub-unit etilen mengikat air sehingga menahan masuknya air ke jaringan tanaman, akibatnya akar tanaman semakin sulit menyerap air. Pertumbuhan panjang akar yang intensif merupakan penentu kemampuan tanaman untuk beradaptasi pada cekaman kekeringan

Tabel 2. Pengaruh lama perendaman terhadap panjang akar tunggang (cm), tinggi tunas (cm), rasio akar dan tunas serta kandungan K⁺ total pada semaian karet GT1.

Karakter amatan	Lama perendaman (jam)	Hari ke						
		1	2	3	4	5	6	7
Panjang akar tunggang (cm)	7	1,6b	1,6b	1,6b	1,6b	1,8b	1,9c	2,0c
	12	2,8b	2,8b	2,8b	2,9b	3,1b	3,2b	3,4b
	24	5,5a	5,5a	5,5b	3,5ab	6,1a	6,4a	6,9a
Tinggi Tunas (cm)	7	6,8c	6,8c	6,9c	6,9c	8,4c	6,9c	6,7c
	12	11,7b	11,7b	11,8b	11,8b	15,4b	11,8b	11,5b
	24	23,3a	23,3a	23,5a	23,5a	23,5a	23,5a	23,0a
Rasio panjang akar dan tunas	7	0,2a	0,2a	0,2a	0,3a	0,3a	0,3a	0,3a
	12	0,2a	0,2a	0,2a	0,3a	0,3a	0,3a	0,3a
	24	0,2a	0,2a	0,2a	0,3a	0,3a	0,3a	0,3a
K ⁺ Ttotal	7				1,5b			
	12				1,7a			
	24				1,7a			

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut uji Tukey.

Tabel 3. Pengaruh interaksi beberapa konsentrasi PEG 6000 dan waktu perendaman terhadap panjang akar tunggang, tinggi tunas, rasio akar dan tunas serta kandungan K⁺ total pada semaian karet GT1

Karakter amatan	Konsentrasi PEG 6000 (%)	Lama perendaman (jam)	Hari ke						
			1	2	3	4	5	6	7
Panjang akar tunggang (cm)	0	7	1,9 b	1,8 c	1,7 b	2,2 cd	2,2 cd	2,4 cd	2,8 cd
		12	3,2 ab	3,1 abc	3,0 ab	3,8 bcd	3,8 bcd	4,2 bcd	4,8 bc
		24	6,3 a	6,1 a	5,9 a	7,7 a	7,7 a	8,3 a	9,5 a
	0,25	7	1,5 b	1,4 c	1,4 b	1,4 d	1,4 d	1,5 d	1,5 d
		12	2,5 ab	2,4 abc	2,4 ab	2,4 cd	2,4 cd	2,5 cd	2,6 cd
		24	5,0 ab	4,7 abc	4,8 ab	4,8 abc	4,9 abc	5,1 bc	5,3 bc
	0,5	7	1,5 b	1,7 bc	1,7 b	1,7 cd	1,7 d	1,7 d	1,7 d
		12	2,6 ab	2,8 abc	2,9 ab	2,9 bcd	2,9 bcd	2,9 bcd	2,9 bcd
		24	5,2 ab	4,7 abc	5,8 a	5,8 ab	5,8 ab	5,8 ab	5,8 b
Tinggi Tunas (cm)	0	7	6,7 c	6,6 c	6,3 d	6,3 d	10,8 bc	6,3 d	6,3 c
		12	11,5 b	11,4 b	10,8 bc	10,8 bc	21,6 b	10,8 bc	10,8 bc
		24	24,4 a	22,8 a	21,6 a				
	0,25	7	6,6 c	7,0 c	7,1 cd	7,1 cd	7,1 c	7,1 cd	7,1 bc
		12	11,3 b	12,0 b	12,2 b				
		24	22,7 a	24,0 a	24,2 a	24,2 a	24,5 a	24,2 a	24,4 a
	0,5	7	7,1 c	6,7 c	7,1 cd	7,1 cd	7,1 c	7,1 cd	6,7 bc
		12	12,2 b	11,6 b	12,2 b	12,2 b	12,2 b	12,2 b	11,5 bc
		24	24,4 a	23,1 a	24,5 a	24,5 a	24,5 a	24,5 a	23,0 a
Rasio panjang akar dan tunas	0	7	0,3 a	0,3 a	0,3 a	0,4 a	0,4 a	0,4 a	0,4 a
		12	0,3 a	0,3 a	0,3 a	0,4 a	0,4 a	0,4 a	0,4 a
		24	0,3 a	0,3 a	0,3 a	0,4 a	0,4 a	0,4 a	0,4 a
	0,25	7	0,2a						
		12	0,2a						
		24	0,2a						
	0,5	7	0,2a						
		12	0,2a						
		24	0,2a						
K+ Ttotal	0	7				1,5 d			
		12				1,6 c			
		24				1,5 d			
	0,25	7				1,6 c			
		12				1,7 b			
		24				1,7 b			
0,5	7				1,5 d				
	12				1,6 c				
	24				1,8 a				

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut uji Tukey

(Wu and Cosgrove, 2000). Efektifitas PEG untuk menduga respon tanaman terhadap cekaman kekeringan dapat diuji secara in vitro. PEG ditambahkan pada media penanaman. Perlakuan PEG pada media penanaman akan

mempengaruhi keberlangsungan hidup dan pertumbuhan eksplan yang ditanam.

Penggunaan PEG 6000 untuk percobaan potensial air terkontrol telah terbukti menjadi metode yang efektif untuk mempelajari

dampak kekurangan air pada fase vegetatif awal (Radhouane, 2009). PEG 6000 juga dapat digunakan untuk mendeteksi dan membedakan respon tanaman padi terhadap cekaman kekeringan dengan mengurangi potensial air pada media penanaman (Van de Berrg dan Zeng, 2006). Penambahan PEG 6000 dengan konsentrasi 10% dan 15% merupakan media yang dapat digunakan untuk seleksi toleransi kekeringan secara *in vitro* pada tanaman terung (Sinaga *et al.*, 2015). Konsentrasi PEG 6000 5% pada media MS cair secara *in vitro* mampu mensimulasi cekaman kekeringan pada parameter tinggi tunas, jumlah daun normal, jumlah daun layu, persentase pertumbuhan, skor kerusakan eksplan dan indeks sensitivitas beberapa varietas kedelai (Savitri, 2010; Zuyasna *et al.*, 2016). Pemberian PEG 6000 mempengaruhi waktu inisiasi akar karena PEG mempunyai kemampuan untuk menghambat imbibisi dan hidrasi benih pada tanaman tomat. Selain itu peningkatan konsentrasi PEG akan meningkatkan panjang akar. Sehingga mengakibatkan perubahan morfologi dan fisiologi tanaman tomat (Harahap *et al.*, 2013). Perubahan morfologi akan menyebabkan akar berkembang cepat ke arah bawah sehingga nisbah tajuk dan akar akan mengecil. Absorpsi air akan lebih tinggi dibandingkan dengan transpirasi pada bagian tajuk. Pemberian PEG 6000 sebanyak 40 gram/liter mampu menurunkan daya perkecambah kapas. Pemberian PEG 6000 pada konsentrasi >20% adalah ambang batas untuk berkecambah, dan konsentrasi 15% adalah ambang batas untuk berkecambah dengan baik pada tanaman jiwawut (Mapikasari *et al.*, 2017). Hal ini sejalan dengan penelitian pada tanaman sereal seperti gandum, konsentrasi PEG 6000 >15% dapat digunakan untuk menseleksi terhadap cekaman kekeringan (Guo *et al.*, 2013). Tanaman mampu meningkatkan sistem perakaran, stomata, mengurangi absorpsi radiasi surya dengan pembentukan lapisan lilin atau bulu daun tebal dan menurunkan evapotranspirasi melalui penyempitan daun

dan luas daun. Peningkatan volume dan panjang akar merupakan salah satu mekanisme tanaman untuk mengatasi cekaman kekeringan.

Indeks Sensitivitas

Nilai indeks sensitivitas digunakan untuk mengetahui nilai toleransi suatu tanaman terhadap kondisi lingkungan yang tidak optimal, diantaranya adalah cekaman kekeringan. Nilai tersebut diperoleh dari perbandingan rata-rata karakter dari suatu genotipe yang tercekam dibandingkan dengan rata-rata dari karakter dari seluruh perlakuan yang digunakan, namun nilai ini masih digunakan sebagai penduga untuk mengklasifikasikan semaian karet GT₁ tersebut ke dalam kelompok toleran atau tidak.

Nilai indeks sensitivitas dari empat karakter yang diamati menunjukkan hasil yang sama, yaitu sebesar 1. Nilai 1 ini mengindikasikan bahwa klon GT₁ terkelompok sebagai klon yang rentan terhadap induksi cekaman kekeringan dengan penggunaan larutan osmotikum PEG 6000. Hasil yang sama dengan hasil penelitian Wang (2014), dimana semaian GT₁ tergolong rentan terhadap cekaman kekeringan yang diamati dari karakter fisiologi dan molekuler. Karakter fisiologi yang diamati adalah kadar air relatif, kandungan klorofil total, prolin, malondialdehyde (MDA), peroksidase (POD), superoksida dismutase (SOD) dan karakter molekuler yang diamati adalah ekspresi biosintesis energi dan sistem hambatan ROS terkait gen, termasuk HbCuZnSOD, HbMnSOD, HbAPX, HbCAT, HbCOA, HbATP, dan HbACAT. Hal ini disebabkan kemampuan adaptasi terhadap cekaman kekeringan adalah proses kompleks. Proses yang terlibat adalah osmoregulasi, enzim antioksidan dan gen biosintesis yang terdeteksi pada mitokondria dan kloroplas. Hasil analisis indeks sensitivitas keempat karakter yang diamati dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai indeks sensitivitas semaian karet GT1 terhadap karakter panjang akar, tinggi tunas, rasio panjang akar dan tunas serta kandungan K⁺ total dengan pemberian beberapa konsentrasi PEG 6000 (%) dan lama perendaman (jam)

Karakter amatan	Indeks sensitivitas					
	Konsentasi PEG 0,25 %			Konsentasi PEG 0,5%		
	7 jam	12 jam	24 jam	7 jam	12 jam	24 jam
Panjang akar tunggang	1	1	1	1	1	1
Tinggi tunas	1	1	1	1	1	1
Rasio panjang akar tunggang & tinggi tunas	1	1	1	1	1	1
Kalium-total	1	1	1	1	1	1

Kesimpulan

PEG 6000 pada konsentrasi 0,25% memberikan pengaruh nyata terhadap semua karakter amatan (panjang akar tunggang, tinggi tunas, rasio panjang akar tunggang dan tinggi tunas, K⁺ total). Lama waktu perendaman berpengaruh terhadap panjang akar tunggang, tinggi tunas, K⁺ total. Interaksi antara PEG 6000 dan lama perendaman berpengaruh terhadap panjang akar tunggang, tinggi tunas dan K⁺ total.

Daftar Pustaka

- Abiri, R., Shahrudin, N. A., & Maziah, M. (2016). Quantitative assessment of indica rice germination to hydropriming, hormonal priming and polyethylene glycol priming. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 76(4), 392-400.
- Afa, L. O., Purwoko, B. S., Junaedi, A., O. Haridjaja, O., & Dewi, I. S. (2013). Deteksi dini toleransi padi hibrida terhadap kekeringan menggunakan PEG 6000. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 41(1), 9-15.
- Ai, N. S., Tondais, S. M., & Butar-butur, R. (2010). Evaluasi indikator toleransi cekaman kekeringan pada fase perkecambahan padi (*Oryza sativa*). *Jurnal Biologi*, 14(1), 50-54.
- Akbar, M. R., Purwoko, B. S., Dewi, I. S., & Suwarno, W. B. (2018). Penentuan indeks seleksi toleransi kekeringan galur dihaploid padi sawah tadah hujan pada fase perkecambahan. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 46(2), 133-139.
- Asay, K. H., & Jhonson, D. A. (1983). Breeding for drought resistance in range grass. *Lowa State Journal Research*, 57(4), 441-445.
- Badami, K., & Amzeri, A. (1983). Identifikasi varian somaklonal toleran kekeringan pada populasi jagung hasil seleksi in vitro dengan PEG. *Agrovior*, 4(1), 7-13.
- Banyo, Y. E., Ai, N. S., Siahaan, P., & Tangapo, A. M. (2013). Konsentrasi klorofil daun padi pada saat kekurangan air yang diinduksi dengan polietilen glikol. *Jurnal Ilmiah Sains*, 13(1), 1-8.
- Dhanda, S. S., Sethi, G. S., & Behl, R. K. (2004). Indices of drought tolerance in wheat genotypes as early stages of plant growth. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190, 6-12.
- Efendi, Roy. 2009. Tanggap genotipe jagung toleran dan peka terhadap cekaman kekeringan pada fase perkecambahan. *Prosiding Sem. Nas Serealia*. hal 82-91
- Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivar I: Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912. doi:10.1071/AR9780897

- Guo, R., Wei, P. H., Dao, Z. G., Xiu, L. Z., & Feng, X. G. (2013). Effects of water stress on germination and growth of wheat, photosynthetic efficiency and accumulation of metabolites. In C. H. M, Soriano (Ed.), *Soil Processes and Recurrent Trends in Quality Assessment* (pp. 367-380). London, UK: IntechOpen Limited.
- Harahap, R. E., Siregar, L. A. M., & Bayu, E. S. (2013). Pertumbuhan akar pada perkecambahan beberapa varietas tomat dengan pemberian polyethylene glikol (PEG) secara in vitro. *Jurnal Agroekoteknologi*, 1(3), 418-428.
- Idris, M., & Mansyurdin. (2010, 10-11 Mei). *Struktur anatomi daun klon andalas (Morus macroura) hasil seleksi cekaman kekeringan secara secara in-vitro menggunakan polietilena glikol*. Tulisan disajikan pada Seminar dan Rapat Tahunan BKS-PTN Wilayah Barat ke-21, Pekan Baru.
- Irawan, A., Nurcahyani, E., & Zulkifli. (2015, 29 April). *Kandungan klorofil daun planlet pisang raja bulu (Musa paradisiaca) hasil seleksi in vitro terhadap cekaman kekeringan*. Tulisan disajikan pada Seminar Swasembada Nasional Pangan Bandar Lampung.
- Mapikasari, S., Adisyahputra, & Indrayanti, R. (2017). Perkecambahan empat aksesori jiwawut (*Setaria italica*) pada kondisi cekaman kekeringan artifisial. *Bioma*, 13(1), 43-50.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. London, UK: Academic Press.
- Montgomery, D. C. (2001). *Design and analysis of experiments-5th edition*. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc
- Morgan, J. M. (1992). Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. *Australian Journal Of Plant Physiology*, 19, 67-76.
- Munarso, Y. P. (2011). Keragaan padi hibrida pada sistem pengairan intermitten dan tergenang. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 30(3), 189-195.
- Nazirah, L., Purba, E., Hanum, C., & Rauf, A. (2015). Evaluasi toleransi berbagai padi gogo terhadap cekaman kekeringan dengan penggunaan PEG (Polyetilen glikol). *Lentera*, 15(16), 61-68.
- Nio, S. A., & Kandou, F. E. F. (2000). Respons pertumbuhan padi (*Oryza sativa* L.) sawah dan gogo pada fase vegetatif awal terhadap cekaman kekeringan. *Eugenia*, 6, 270-273.
- Nio, S. A., Tondais, S. M., & ButarButar, R. (2010). Evaluasi indikator toleransi cekaman kekeringan pada fase perkecambahan padi (*Oryza sativa*). *Jurnal Biologi*, XIV(1), 50-54.
- Ozturk, A., Taskesenligil, B., Haliloglu, K., Aydin, M., & Caglar, O. (2016). Evaluation of bread wheat genotypes for early drought resistance via germination under osmotic stress, cell membrane damage and paraquat tolerance. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40, 146-159.
- Passioura, J. B. (1981). Water collection by roots. In L. G. Paleg & D. Aspinall (Eds.), *The physiology and biochemistry of drought resistance in plants* (pp. 39-53). Sidney, Australia: Academic Press.
- Savitri, E. S. (2010). Pengujian in vitro beberapa varietas kedelai (*Glycine max*) toleran kekeringan menggunakan polyethylene glikol (PEG) 6000 pada media padat dan cair. *El-Hayah*, 1(2), 9-13.
- Sharp, R. E., & Davis, W. J. (1989). Regulation of growth and development of plants growing with a restricted supply of water. In H. G. Jones, T. J. Flowers, & M. B. Jones (Eds.), *Plant under stress*. Cambridge, U.K: Cambridge University Press.
- Sinaga, E., Rahayu, M. S., & Maharijaya, A. (2015). Seleksi toleransi kekeringan in-vitro terhadap enam belas aksesori tanaman terung (*Solanum melongena*) dengan polietilena glikol (PEG). *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 6(1), 20-28.
- Sobrado, M. A. (2007). Relationship of water transport to anatomical features in the mangrove (*Laguncularia racemosa*) grown under contrasting salinities. *New Phytologist*, 173, 584-591.

- Torey, P. C., Nio, S. A., Siahaan, P., & Mambu, S. M. (2013). Karakter morfologi akar sebagai indikator kekurangan air pada padi lokal superwin. *Jurnal Bios Logos*, 3(2), 57-64.
- Verlues, P. E., Agarwal, M., & Zhu, J. (2006). Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stress that affect plant water status. *Plant Journal*, 45(4), 523-539.
- Wang, L. F. (2014). Physiological and molecular responses to drought stress in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell.Arg.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 83, 243-249.
- Widoretno, W., & Winarsih, L. (2010). Pengaruh stress kekeringan pada fase vegetatif terhadap kandungan prolin dan gula total terlarut pada beberapa genotipe kedelai (*Glycine Max*). *Jurnal Ilmu -Ilmu Hayati*, 22, 1-7.
- Widyastuti, Y., Purwoko, B. S., & Yunus, M. (2016). Identifikasi toleransi kekeringan tetua padi hibrida pada fase perkecambahan menggunakan polietilen glikol (PEG) 6000. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 44, 235-241.
- Yasar, F., Turkmen, S., & Ellialtioglu, S. S. (2006). Determination of antioxidant activities in some melon (*Cucumis melo* L.) varieties and cultivars under salt stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 8(14), 627-630.
- Yasar, F., Uzai, O., Yasar, O., & Ellialtioglu, S. S. (2014). Root, stem, and leaf ion accumulation in drought-stresses green bean (*Phaseolus vulgaris*) genotypes treated with PEG-6000. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(10a), 2656-2662.
- Zuyasna, Effendi, Chairunnas, & Arwin. (2016). Efektivitas polietilen glikol sebagai bahan penyeleksi kedelai kipas merah bireun yang diradiasi sinar gamma untuk toleransi terhadap cekaman kekeringan. *Jurnal Floratek*, 11(1), 66-74.