
PENGARUH TEKANAN POTENSIAL AIR TERHADAP KEMUNCULAN RADIKULA PADA BENIH JAGUNG (*ZEA MAYS*)

*(The Effect of Potential Water Pressure on the Emergence of Radicles in Maize
Seeds (Zea mays))*

Abdul Qadir¹, Aditya Kusumawardana², Ritawati³, Punjung Medaraji Suwarno⁴

¹Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Bogor

^{2,3}Sekolah Pascasarjana IPB, Jl. Raya Darmaga, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680,
Bogor

⁴Sekolah Vokasi IPB, Jl. Kumbang No.14, RT.02/RW.06, Babakan, Kecamatan Bogor
Tengah, Kota Bogor, Jawa Barat 16128, Bogor

Alamat email : medaraji@apps.ipb.ac.id

Diterima: 28 Oktober 2023 /Disetujui : 01 Desember 2023

ABSTRACT

Water is an important factor for plant growth. A few studies about the amount of water required by the seed for radicle emergence in germination has been done. This research was conducted at the Laboratory of Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture IPB Bogor. Maize seeds were planted using a solution of Polyethylene Glycol (PEG) 6000 with a concentration level of 0%, 5%, 10%, 20%, and 30%. A Completely Randomized Design with 3 replications was used in this research. The appearance of the radicle first occurred in phase II, namely during the 48-hour observation for the Ψ -0,13 MPa treatment (5% PEG) and 60 hours for the Ψ -0,4 MPa treatment (10% PEG). The results showed that testing maize seed vigor under drought stress can use water potential (Ψ) higher than -0,4 MPa. The results showed that water potential (Ψ) of -0,4 MPa or higher can be used in vigor testing of maize seed.

Keywords : drought, imbibition, sigmoid curve

ABSTRAK

Air merupakan salah satu syarat penting bagi pertumbuhan tanaman. Jumlah air yang dibutuhkan benih untuk munculnya radikula dalam perkecambahan belum banyak diteliti. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Ilmu dan Teknologi Benih, Fakultas Pertanian IPB Bogor. Benih jagung ditanam menggunakan perlakuan larutan Polietilena Glikol (PEG) 6000 dengan taraf konsentrasi 0%, 5%, 10%, 20%, 30%. Rancangan yang digunakan adalah Acak lengkap dengan 3 ulangan. Pemunculan radikula pertama kali terjadi pada fase II yaitu saat pengamatan 48 jam untuk perlakuan Ψ -0,13 MPa (PEG 5%) dan 60 jam untuk perlakuan Ψ -0,4 MPa (PEG 10%). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa potensial air (Ψ) sebesar -0,4 MPa atau di atasnya dapat digunakan pada pengujian vigor benih jagung dengan cekaman kekeringan.

Kata kunci : imbibisi, kekeringan, kurva sigmoid

PENDAHULUAN

Kekeringan adalah pembatas produktivitas tanaman yang berkontribusi cukup besar pada penurunan hasil. Kekeringan didefinisikan sebagai kondisi saat air tanah yang tersedia tidak cukup untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Tanaman yang tercekam kekeringan ditandai dengan terjadinya penurunan kandungan kadar air, berkurangnya potensial air daun dan hilangnya turgor, penutupan stomata serta berkurangnya pertumbuhan dan pembesaran sel (Jaleel *et al.*, 2009).

Karakter morfologi dan fisiologi yang dilaporkan terkait dengan sifat toleran terhadap cekaman kekeringan antara lain pertumbuhan dan perkembangan akar (Bohn *et al.*, 2006; Vadez, 2007), efisiensi penggunaan air, laju kehilangan air melalui transpirasi, densitas stomata (Blum, 2005), dan kemampuan melindungi aparatus kloroplas dari kerusakan (Prochazkova *et al.*, 2001; Mittler, 2002). Pendekatan utama yang sering digunakan untuk melihat kemampuan tanaman menghadapi cekaman kekeringan adalah (a) kemampuan mengabsorpsi air secara maksimal dengan memperluas dan memperdalam sistem perakaran, serta (b) kemampuan tanaman mempertahankan turgor melalui penurunan potensial osmotik (Sopandie, 2006).

Tanaman yang mengalami kekurangan air secara umum mempunyai ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh normal (Budi dan Anwar 2019). Kekurangan air menyebabkan penurunan hasil yang sangat signifikan dan bahkan menjadi penyebab kematian pada tanaman (Utami, *et al.*, 2020). Menurut Dubrovsky dan Go´mez-lomeli (2003), strategi tanaman dalam menghadapi cekaman kekeringan, dimulai dari fase perkecambahan dan pertumbuhan vegetatif dengan membentuk formasi akar yang dalam dan percabangan akar yang banyak. Hal ini merupakan ciri penting dari sifat tanaman yang toleran kekeringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa varietas jagung yang memiliki akar primer yang lebih dalam mampu mengabsorpsi air lebih banyak (Van Der Weele *et al.*, 2000). Selain memodifikasi perakaran pada kondisi cekaman kekeringan, tanaman jagung juga mengatur mekanisme tekanan osmotik sel dengan cara mengakumulasi solut kompatibel (osmotic adjustment, OA) di dalam sel. Salah satu senyawa OA yang paling banyak diproduksi di akar adalah prolin (Sharp dan Davies, 1979).

Informasi yang akurat terkait benih jagung yang sesuai ditanam di lahan yang rentan terkena cekaman kekeringan, perlu dilakukan evaluasi terhadap daya vigor benih pada kondisi yang dimaksud. Pengujian vigor benih jagung berdasarkan kecambah normal sudah banyak dilakukan, dan membutuhkan waktu yang lama. Salah satu cara cepat untuk menguji daya vigor suatu benih yang telah dikembangkan dan terbukti berhasil adalah menggunakan metode pengujian *Radicle Emergence* (RE). Cardoso dan Bianconi (2013) menyatakan bahwa keseragaman, kepadatan tegakan tanaman, serta produksi dan mutu tanaman ditentukan oleh perkecambahan benih dan kemunculan radikula. Uji RE merupakan pengujian vigor benih dengan menghitung persentase radikula yang berhasil menembus kulit benih (ISTA, 2021).

Prinsipnya adalah persentase RE yang tinggi menunjukkan tingkat vigor benih yang tinggi, sebaliknya persentase RE rendah menunjukkan vigor benih yang rendah. Tinggi rendahnya persentase RE sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang diimbibisi ke dalam benih. Hal ini terkait juga dengan kondisi cekaman kekeringan, apabila intensitas imbibisi air ke dalam benih rendah. Pengukuran RE dalam kondisi cekaman kekeringan diatur dengan menggunakan metode Polietilena Glikol (PEG). Penggunaan larutan PEG untuk menguji ketahanan varietas pada cekaman kekeringan telah banyak dilakukan tetapi informasi tentang penggunaannya sebagai metode uji vigor masih sangat kurang. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik perkecambahan benih melalui uji kemunculan radikula (Radicle Emergence, RE) pada benih jagung dan pola imbibisi air pada berbagai taraf potensial air yang diatur menggunakan larutan PEG 6000.

METODE PENELITIAN

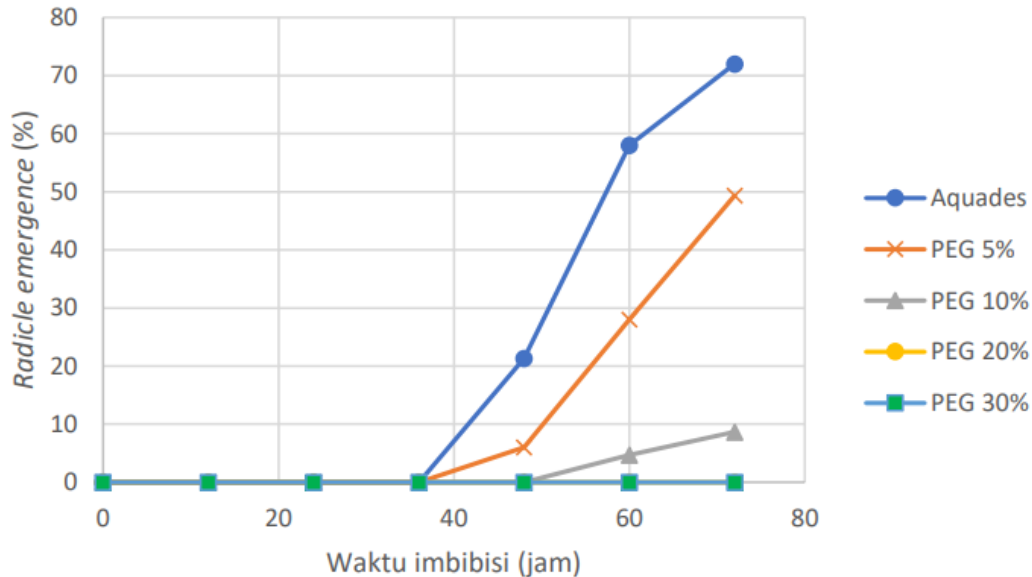
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2023 di Laboratorium Ilmu dan Teknologi Benih, Fakultas Pertanian IPB, Bogor. Alat yang digunakan meliputi timbangan digital, pinset, gelas ukur dan oven. Bahan yang digunakan adalah benih jagung komposit dengan kadar air awal 9.2%, aquades, PEG 6000, substrat perkecambahan (kertas CD) dan boks perkecambahan berupa kotak plastik transparan.

Larutan PEG 6000 terbagi dalam 5 taraf konsentrasi yaitu 0% (kontrol), 5%, 10%, 20%, dan 30%. Konsentrasi larutan PEG ini setara dengan tekanan potensial air (Ψ) secara berurutan sebesar 0,0, -0,13, -0,4, -0,6, dan -1,3 MPa (Steuter *et al.*, 1981; Rahayu *et al.*, 2005). Larutan PEG 5% dibuat dengan melarutkan 50 g PEG di dalam 1 liter aquades, larutan PEG 10% dibuat dengan melarutkan 100 g PEG di dalam 1 liter aquades, larutan PEG 20% dengan melarutkan 200 g PEG di dalam 1 liter aquades dan larutan PEG 30% dibuat dengan melarutkan 300 g PEG di dalam 1 liter aquades. Persiapan media perkecambahan berupa boks perkecambahan, dialasi dengan tiga lembar kertas substrat (metode UDK), kemudian dilembabkan substrat sampai kapasitas lapang dan diukur berapa ml air yang dibutuhkan, contoh 10 ml/boks. Kapasitas lapang ditandai jika boks perkecambahan yang telah berisi substrat lembab, ketika dibalik tidak ada lagi air yang menetes. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan lima taraf potensial air (Ψ) yaitu 0,0, -0,13, -0,4, -0,6, dan -1,3 MPa, yang diamati pada 0, 12, 24, 36, 48, 60, 72 jam dan tiga ulangan, sehingga seluruhnya terdapat 105 satuan percobaan. Perkecambahan benih dilakukan di dalam boks di atas kertas substrat yang telah dilembabkan dengan larutan PEG, jumlah benih yang ditanam yaitu 50 butir benih pada setiap boks perkecambahan, dan boks ditempatkan pada suhu ruang

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kemunculan Radikula/Radicle Emergence (RE)

Uji *Radicle Emergence* (RE) merupakan salah satu uji vigor yang dapat mendeteksi ekspresi fisiologi perkecambahan benih lebih awal dan merupakan metode uji yang cepat dalam menggambarkan kemampuan benih untuk tumbuh normal di lapang. Persentase RE yang tinggi menggambarkan vigor benih yang tinggi. Pengujian RE dilakukan dengan mengecambahkan benih jagung kemudian diukur suhu dan waktu yang tepat hingga muncul radikula minimal 2 mm setelah dikecambahkan selama $66 \text{ jam} \pm 15 \text{ menit}$ pada suhu 20°C atau $144 \pm 1 \text{ jam}$ pada suhu 13°C (ISTA, 2021).



Gambar 1. Kurva perkembangan pemunculan radikula (RE) benih jagung

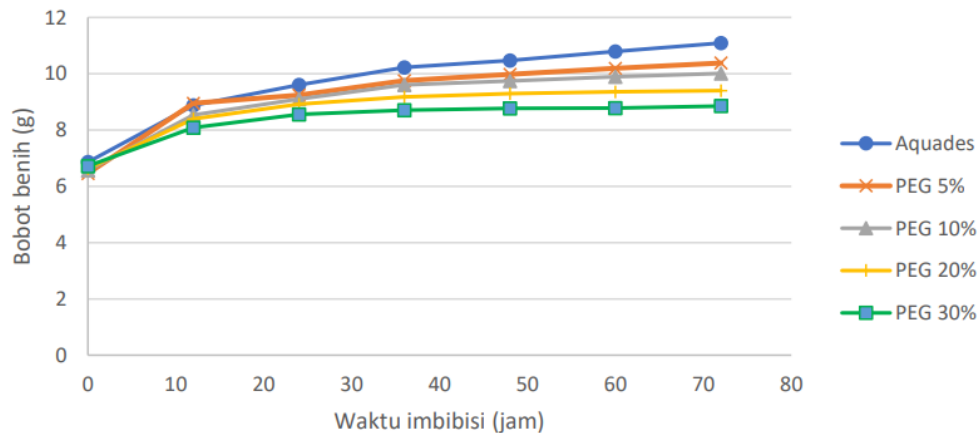
Kemunculan pertama radikula terlihat setelah 48 jam perkecambahan di perlakuan $\Psi 0,0 \text{ MPa}$ (Aquades) dan $\Psi -0,13 \text{ MPa}$ (PEG 5%), sedangkan pemunculan pertama radikula pada perlakuan $\Psi -0,4 \text{ MPa}$ (PEG 10%) terjadi setelah 60 jam perkecambahan. Perubahan imbibisi air pada perlakuan $\Psi -0,13 \text{ MPa}$ (PEG 5%) dan $\Psi -0,4 \text{ MPa}$ (PEG 10%) memperlihatkan bentuk kurva sigmoid, terdiri atas 2 fase yaitu: fase I (0 – 48 jam) dan fase II (48 – 72 jam). Perlakuan $\Psi -0,6 \text{ MPa}$ (PEG 20%) dan $\Psi -1,3 \text{ MPa}$ (PEG 30%) menunjukkan tidak ada benih yang berkecambah pada periode tersebut (Gambar 1). Hasil penelitian Sabouri *et al.* (2020) menunjukkan bahwa hydrotime model mampu menduga kecepatan dan persentase daya berkecambah. Patanè (2016) menyatakan bahwa pendekatan pemodelan hidrotime menyediakan alat yang dapat diandalkan untuk memprediksi keragaan perkecambahan sorgum manis, dalam hal toleransi cekaman air, kecepatan dan keseragaman, dalam kondisi kekurangan air tanah yang mungkin terjadi pada penanaman di awal atau akhir musim semi.

Perlakuan dengan potensial air $\Psi 0,0 \text{ MPa}$ (Aquades) merupakan kondisi yang optimum bagi pertumbuhan benih jagung pada penelitian ini. Di sisi lain perlakuan potensial air (Ψ) $-0,13 \text{ MPa}$, $\Psi -0,4 \text{ MPa}$, $\Psi -0,6 \text{ MPa}$, dan $\Psi -1,3 \text{ MPa}$ dirancang sebagai kondisi sub optimum bagi perkecambahan benih jagung. Semakin rendah

potensial air maka semakin tinggi tingkat cekaman kekeringan media tumbuhnya. Dari ketiga perlakuan potensial air sub optimum tersebut, benih jagung masih dapat bertahan dan muncul radikula pada cekaman kekeringan dengan potensial air (Ψ) -0,13 MPa dan Ψ -0,4 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa potensial air (Ψ) sebesar -0,4 MPa atau di atasnya dapat digunakan pada pengujian vigor benih jagung dengan cekaman kekeringan. Tekanan potensial maksimal terhadap daya berkecambah bervariasi untuk tiap komoditas. Hasil penelitian Shah *et al.* (2021) menunjukkan bahwa kacang arab varietas NIFA 1995 memiliki nilai $\psi_b(50)$ -1.28 MPa pada suhu 21°C. López *et al.* (2021) menyatakan perkiraan nilai $\psi_b(50)$ yang cukup tinggi yaitu $-2.79 \pm 0,45$ MPa pada tumbuhan *Festuca pallescens* yang tidak berbeda nyata terhadap populasi yang diamati. Toselli dan Casenave (2002) menyatakan bahwa nilai potensial air yang menghambat munculnya radikula pada populasi benih diperoleh sebesar -2,2 MPa berdasarkan fungsi distribusi akumulasi frekuensi normal ψ_b mengikuti model penyesuaian. Hal ini menunjukkan hingga batas potensial ini, benih dapat tetap berada dalam keseimbangan dengan mediumnya tanpa batas waktu.

Pola imbibisi air pada benih jagung

Proses penyerapan air oleh benih sampai ke jaringan biasanya terjadi pada tahap pertama. Perubahan bobot basah benih jagung merupakan gambaran volume air yang masuk ke dalam benih selama proses perkecambahan. Pada semua potensial air, imbibisi air benih meningkat dratis setelah ditanam selama 12 jam. Peningkatan masih terjadi ketika pada pengamatan 24 jam, selanjutnya grafik cenderung datar (Gambar 2).



Gambar 2. Pola imbibisi air pada benih jagung berdasarkan bobot benih

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tekanan potensial air (Ψ) 0,0 MPa (larutan aquades) proses imbibisi masih terjadi pada jam ke-60 dengan bobot benih 10,79 g sampai ke jam-72 dengan bobot benih 11,09 g. PEG 30% pada tekanan potensial air (Ψ) -1,3 MPa cenderung lebih stabil, pada jam ke-60 mempunyai bobot benih 8,78 g dan pada jam-72 sebesar 8,85 g (Gambar 2). Hal ini disebabkan PEG mempunyai kemampuan sifat dalam menghambat imbibisi dan hidrasi benih (Harahap

et al., 2013). Besarnya kemampuan larutan PEG untuk menahan air tersebut bergantung pada bobot molekul dan konsentrasinya. Pemberian PEG pada media menyebabkan potensial air menjadi rendah dan menyebabkan cekaman kekeringan. Rendahnya potensial air pada media mengakibatkan eksplan tidak dapat menyerap air dengan maksimal (Aazami *et al.*, 2010).

Laju penyerapan air pada benih menurun seiring dengan penurunan potensial air. Penyerapan air tertinggi yaitu di Ψ 0,0 MPa (Aquades) yaitu sebesar 4,23 dan terendah di Ψ -1,3 MPa (PEG 30%) sebesar 2,13 g (Tabel 1).

Tabel 1. Bobot Air yang Terserap Benih Jagung

Waktu Imbibisi (jam)	Bobot air yang terserap (g)				
	Aquades	PEG 5%	PEG 10%	PEG 20%	PEG 30%
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	2,02	2,49	1,96	1,77	1,36
24	0,72	0,29	0,57	0,52	0,48
36	0,62	0,51	0,50	0,26	0,15
48	0,25	0,23	0,14	0,11	0,06
60	0,32	0,21	0,15	0,07	0,01
72	0,30	0,19	0,12	0,04	0,07
Jumlah	4,23	3,92	3,44	2,77	2,13
Bobot air sampai RE	3,61	3,52	3,32		

Pada perlakuan Ψ -0,13 MPa (PEG 5%), penyerapan air oleh benih relatif lebih tinggi dibandingkan dengan Ψ -0,6 MPa (PEG 20%) dan Ψ -1,3 MPa (PEG 30%). Hal ini diduga PEG 6000 menyebabkan air menjadi lambat tersedia untuk benih saat akan dimulainya perkecambahan. Jumlah air yang dibutuhkan benih jagung untuk memunculkan radikula bervariasi. Jumlah air yang paling banyak terdapat pada perlakuan aquades yaitu 3.61 g, diikuti oleh PEG 5% yaitu 3.52 g dan PEG 10% yaitu 3.32 g. Pada perlakuan PEG 20% dan PEG 30% radikula belum muncul sampai akhir pengamatan (72 jam) (Tabel 1). Widyastuti *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa penggunaan PEG 25% memperlihatkan genotipe padi mengalami penurunan terhadap semua karakter yang diamati dibandingkan kontrol. Konsentrasi yang tinggi pada larutan PEG 6000 mengakibatkan nilai 9 potensial air di sekitar benih menjadi semakin negatif, sehingga air sulit diserap oleh benih sebab PEG memiliki sifat yang mudah mengikat air (Agustiansyah *et al.*, 2021; Gammoudi *et al.*, 2021).

SIMPULAN

Perubahan imbibisi air pada perlakuan Ψ -0,13 MPa (PEG 5%) dan Ψ -0,4 MPa (PEG 10%) memperlihatkan kurva yang sigmoid, terdiri atas 2 fase yaitu: fase I (0 – 48 jam) dan fase II (48 – 72 jam). Pemunculan radikula pertama kali terjadi pada fase II yaitu saat pengamatan 48 jam untuk perlakuan Ψ -0,13 MPa (PEG 5%) dan 60 jam untuk perlakuan Ψ -0,4 MPa (PEG 10%). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa

potensial air (Ψ) sebesar -0,4 MPa atau di atasnya dapat digunakan pada pengujian vigor benih jagung dengan cekaman kekeringan.

SARAN

Penelitian lanjutan dengan peubah daya berkecambah dan rentang waktu yang lebih lama disarankan dilakukan, untuk mengetahui persentase daya berkecambah maksimal dari materi yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aazami, M.A., Torabi, M., Jalili, E. 2010. In vitro response of promising tomato genotypes for tolerance to osmotic stress. *African Journal of Biotechnology*, 9(26), 4014-4017.
- Agustiansyah, A., Timotiwu, P.B., Pramono, E., Maryeta, M. 2021. Pengaruh Priming pada Vigor Benih Cabai (*Capsicum annum* L.) yang Dikecambahkan pada Kondisi Cekaman Aluminium. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 21(3), 204-211.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11), 1159-1168.
- Bohn, M., Novais, J., Fonseca, R., Tuberosa, R., Griff, T.E. 2006. Genetic evaluation of root complexity in maize. *Acta Agronomica Hungarica*, 54(3), 291-303.
- Budi, R.S., Anwar, A. 2019. Pengaruh cekaman kekeringan terhadap penampilan dan produksi beberapa galur padi asal sigambiri merah pada tanaman M4. *Agriland: Jurnal Ilmu Pertanian*, 7(2), 39-45.
- Cardoso, V. J. M., Bianconi, A. 2013. Hydrotime model can describe the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds to temperature and reduced water potential. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 35(2), 255-261.
- Dubrovsky, J.G., Gómez-Lomelí, L.F. 2003. Water deficit accelerates determinate developmental program of the primary root and does not affect lateral root initiation in a Sonoran Desert cactus (*Pachycereus pringlei*, Cactaceae). *American Journal of Botany*, 90(6), 823-831.
- Gammoudi, N., Nagaz, K., Ferchichi, A. 2021. Hydrotime analysis to explore the effect of H₂O₂- priming in the relationship between water potential (Ψ) and germination rate of *Capsicum annum* L. seed under NaCl- and PEG-induced stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 167, 990-998.
- Harahap, E.R., Siregar, M., Aziz, L., Bayu, E.S. 2013. Pertumbuhan akar pada perkecambahan beberapa varietas tomat dengan pemberian polyethylene glikol (PEG) secara in vitro. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 1(3): 418 – 428.
- [ISTA] The International Seed Testing Association. 2021. International Rules for Seed Testing. Bassersdorf, Switzerland.

- Jaleel, C.A, Manivannan P., Wahid A., Farooq M., Somasundaram R., Panneerselvam R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *Int J Agric. Biol.* 11: 100- 105.
- López, A. S., López, D. R., Arana, M. V., Batlla, D., & Marchelli, P. (2021). Germination response to water availability in populations of *Festuca pallescens* along a Patagonian rainfall gradient based on hydrotime model parameters. *Scientific Reports*, 11(1), 10653.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*, 7(9), 405-410.
- Patanè, C., Saita, A., Tubeileh, A., Cosentino, S. L., Cavallaro, V. 2016. Modeling seed germination of unprimed and primed seeds of sweet sorghum under PEG-induced water stress through the hydrotime analysis. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 1-12.
- Prochazkova, D., Sairam, R.K., Srivastava, G.C., Singh, D.V. 2001. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science*, 161(4), 765-771.
- Rahayu, E.S., Guhardja, E., Ilyas, S. 2005. Polietilena glikol (PEG) dalam media in vitro menyebabkan kondisi cekaman yang menghambat tunas kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.). *Berkala Penelitian Hayati*, 11(1), 39-48.
- Sabouri, A., Azizi, H., Nonavar, M. 2020. Hydrotime model analysis of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) using different distribution functions. *South African Journal of Botany*, 135, 158-163.
- Shah, S., Ullah, S., Ali, S., Khan, A., Ali, M., Hassan, S. 2021. Using mathematical models to evaluate germination rate and seedlings length of chickpea seed (*Cicer arietinum* L.) to osmotic stress at cardinal temperatures. *PLoS One*, 16(12), e0260990.
- Sharp, R.E., Davies, W.J. 1979. Solute regulation and growth by roots and shoots of water-stressed maize plants. *Planta*, 147, 43-49.
- Sopandie, D. 2006. Perspektif fisiologi dalam pengembangan tanaman pangan di lahan marjinal. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Fisiologi Tanaman. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. 16 September 2006.
- Steuter, A.A., Mozafar, A., Goodin, J.R. 1981. Water potential of aqueous polyethylene glycol. *Plant physiology*, 67(1), 64-67.
- Toselli, M. E., Casenave, E.C. 2002. The hydrotime model analysis of cottonseed germination as tool in priming. *Seed science and technology*, 30(3), 549-557.
- Utami, J. L., Kristanto, B. A., Karno, K. 2020. Aplikasi silika dan penerapan cekaman kekeringan terkendali dalam upaya peningkatan produksi dan mutu simplisia binahong (*Anredera cordifolia*). *Journal of Agro Complex*, 4(1), 69-78.
- Vadez, V., Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Kholova, J., Devi, J.M., Sharma, K.K., Bhatnagar-Mathur, P., Hoisington, D.A., Hash, C.T., Bidinger, F.R., Keatinge, J.D.H. 2007. Exploiting the functionality of root systems for dry, saline, and nutrient deficient environments in a changing climate. *Journal of SAT Agricultural Research*, 4(1), 1-61.

- Van Der Weele, C. M., Spollen, W. G., Sharp, R. E., Baskin, T. I. 2000. Growth of *Arabidopsis thaliana* seedlings under water deficit studied by control of water potential in nutrient-agar media. *Journal of experimental botany*, 51(350), 1555-1562.
- Widyastuti, Y., Purwoko, B. S., Yunus, D. M. 2017. Identifikasi Toleransi Kekeringan Tetua Padi Hibrida pada Fase Perkecambahan Menggunakan Polietilen Glikol (PEG) 6000. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 44(3): 235.