

EVALUASI INDIKATOR TOLERANSI CEKAMAN KEKERINGAN PADA FASE PERKECAMBAHAN PADI (*Oryza sativa* L.)

EVALUATION ON INDICATORS OF WATER-DEFICIT TOLERANCE IN RICE (*Oryza sativa* L.) AT THE GERMINATION PHASE

NIO SONG AI¹⁾, SRI MARIYATI TONDAIS²⁾, REGINA BUTARBUTAR¹⁾

¹⁾ Program Studi Biologi FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: nio_ai@yahoo.com

²⁾ Alumni Program Studi Biologi FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado

INTISARI

Telah dilakukan penelitian untuk mengevaluasi ciri-ciri morfologi yang dapat dipakai sebagai indikator toleransi cekaman kekeringan pada fase perkecambahan padi (*Oryza sativa* L.) di Laboratorium Biologi Konservasi dan Biodiversitas Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sam Ratulangi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perkecambahan dalam larutan osmotikum. Padi yang digunakan ialah varietas Mira 1 dan IR 64 dan larutan osmotikum yang dipakai ialah larutan polietilen glikol (PEG) 8000. Di antara ciri-ciri morfologi yang dievaluasi (panjang akar seminal, panjang tunas, rasio panjang akar seminal:panjang tunas, panjang koleoptil, persentase perkecambahan dan *seed vigour index*), rasio panjang akar seminal:panjang tunas dapat dipakai sebagai indikator toleransi cekaman kekeringan pada kecambah padi.

Kata kunci: ciri-ciri morfologi, polietilen glikol 8000, rasio panjang akar seminal:panjang tunas

ABSTRACT

A study was conducted to evaluate morphological characters that were able to be used as indicators of water-deficit tolerance in rice at the germination phase in the Laboratory of Conservation Biology and Biodiversity, Department of Biology, FMIPA, Sam Ratulangi University. The method that was used in this study was germination in the osmoticum solution. Rice cultivars Mira 1 and IR 64 were used and the osmoticum solution was polyethylene glycol (PEG) 8000. Among the morphological characters (i.e. length of seminal root, shoot length, root-to-shoot length ratio, coleoptile length, germination percentage and seed vigour index) that were evaluated, root-to-shoot length ratio was able to be used as the indicator of water-deficit tolerance in rice at the germination phase.

Keywords: morphological characteristics, polyethylene glycol 8000, root-to-shoot length ratio

PENDAHULUAN

Persediaan air yang tidak memadai merupakan pembatas utama pertumbuhan tanaman (Ludlow, 1993). Tingkat kerugian yang dialami oleh tanaman akibat kekeringan tergantung pada beberapa faktor, antara lain pada saat tanaman mengalami kekurangan air, intensitas kekurangan air dan lamanya kekurangan air (Nio dan Kandou, 2000). Respons yang pertama kali dapat diamati pada tanaman yang kekurangan air ialah penurunan *conductance* yang disebabkan oleh berkurangnya tekanan turgor. Hal ini mengakibatkan laju transpirasi berkurang, dehidrasi jaringan dan pertumbuhan organ menjadi lambat, sehingga luas daun yang terbentuk saat kekeringan lebih kecil. Kekeringan pada tanaman dapat menyebabkan menutupnya stomata, sehingga mengurangi pengambilan CO₂ dan

menurunkan berat kering (Lawlor, 1993; Samaatmadja *et al.*, 1985).

Dalam siklus hidup tanaman, mulai dari perkecambahan sampai panen, tanaman selalu membutuhkan air. Tidak satupun proses metabolisme tanaman dapat berlangsung tanpa air. Besarnya kebutuhan air setiap fase pertumbuhan selama siklus hidupnya tidak sama. Hal ini berhubungan langsung dengan proses fisiologis, morfologis dan kombinasi kedua faktor di atas dengan faktor-faktor lingkungan. Kebutuhan air pada tanaman dapat dipenuhi melalui penyerapan oleh akar. Besarnya air yang diserap oleh akar tanaman sangat bergantung pada kadar air dalam tanah yang ditentukan oleh kemampuan partikel tanah menahan air dan kemampuan akar untuk menyerapnya (Jumin, 1992).

Ada beberapa metode yang dapat dipakai untuk uji toleransi kekeringan dalam program pemuliaan tanaman

(Winter *et al.*, 1988), antara lain pengukuran kerapatan dan kedalaman akar (Gregory, 1989), perbandingan biomassa akar dan pucuk, ketahanan pada tahap awal partisi akar dan pucuk (Dewar, 1993; Thornley, 1998), kandungan air dalam daun (Kumar dan Singh, 1998), stabilitas osmotik membran (Premchandra *et al.*, 1990), perkecambahan dalam larutan osmotikum (Emmerich dan Haregree, 1991). Pemanfaatan metode tersebut untuk seleksi dalam program pemuliaan tanaman tergantung pada variabilitas dan heritabilitas sifat-sifat tertentu dalam populasi (Clarke, 1987).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perkecambahan dalam larutan osmotikum. Metode tersebut telah dilakukan pada gandum (*Triticum aestivum* L.) oleh Dhanda *et al.* (2004), tetapi informasi penelitian sejenis pada padi (*Oryza sativa* L.) masih kurang. Evaluasi toleransi kekeringan dalam penelitian ini dibatasi pada ciri-ciri morfologi kecambah padi, antara lain panjang akar seminal, panjang tunas, panjang koleoptil, rasio panjang akar seminal:panjang tunas, persentase perkecambahan dan *seed vigour index*.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan ciri-ciri morfologi yang dapat dipakai sebagai indikator toleransi cekaman kekeringan pada fase perkecambahan tanaman padi dengan metode perkecambahan dalam larutan polietilen glikol (PEG) 8000.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dengan percobaan faktorial dalam Rancangan Acak Lengkap di Laboratorium Biologi Konservasi dan Biodiversitas Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sam Ratulangi selama bulan Maret 2010. Dua varietas padi, yaitu Mira 1 dan IR 64, diperoleh dari Balai Pengawasan Sertifikasi Benih Tanaman Pangan dan Hortikultura Provinsi Sulawesi Utara. Ada dua perlakuan dalam penelitian ini, yaitu kontrol dengan media akuades dan kondisi kekeringan dengan media PEG 8000, yang dilakukan dalam 3 ulangan. Tahap-tahap dalam penelitian ini meliputi sterilisasi, pemberian cekaman kekeringan, perkecambahan benih padi dan pengambilan data.

Sterilisasi

Sterilisasi 25 benih dilakukan dengan pemutih komersial 2% yang dituang dalam gelas yang berisi benih padi, lalu dikocok selama 2 menit. Selanjutnya dibilas dengan akuades sebanyak 3 kali dan benih siap dkecambahkan (Dhanda *et al.*, 2004; Nio *et al.*, 2001).

Pemberian cekaman kekeringan

Cekaman kekeringan dilakukan dengan memberikan larutan PEG 8000 yang mempunyai potensial air (PA) 0 dan -0,5 MPa. Larutan PEG dengan PA 0 MPa adalah akuades tanpa penambahan PEG, sedangkan larutan PEG dengan PA -0,5 MPa dibuat dengan menambahkan 198 g PEG 8000 dalam 1 L larutan (Michel, 1983).

Perkecambahan benih padi

Dua puluh lima benih padi dkecambahkan di *container* yang dialasi dengan 2 lapis kertas filter berukuran panjang 980 mm dan lebar 700 mm. Pada perlakuan PEG 0 MPa, 2 mL akuades dituangkan ke dalam *container*, sedangkan pada perlakuan PEG -0,5 MPa, 2 mL PEG 8000 dengan PA -0,5 MPa dituangkan ke dalam *container*. Dua mL air suling ditambahkan ke dalam setiap *container* pada perlakuan PEG 0 MPa setiap 2 hari untuk mengkompensasi kehilangan air melalui penguapan. Pada saat yang sama, 2 mL larutan PEG 8000 ditambahkan ke dalam *container* pada perlakuan PEG -0,5 MPa. Semua *container* ditempatkan secara acak dalam bak plastik pertumbuhan selama 6 hari setelah penaburan. Data untuk panjang akar seminal, panjang tunas, rasio panjang akar seminal:panjang tunas, panjang koleoptil dan *seed vigour index* diperoleh dari 10 kecambah untuk setiap replikasi.

Pengambilan data

Benih dikatakan berkecambah jika panjang radikula mencapai 2 mm. Persentase perkecambahan diamati tiap hari, sedangkan panjang akar seminal, panjang tunas, panjang koleoptil diukur pada akhir penelitian dan rasio panjang akar seminal:panjang tunas, panjang koleoptil dan *seed vigour index* juga dihitung pada akhir penelitian. Persentase perkecambahan (%) dihitung dengan rumus jumlah benih yang berkecambah/total benih yang dkecambahkan x 100%, sedangkan *seed vigour index* dihitung dengan rumus (panjang akar seminal + panjang pucuk) x persentase perkecambahan (modifikasi dari Dhanda *et al.*, 2004). Semua data yang diperoleh dianalisis dengan ANAVA dan jika terdapat perbedaan yang nyata, analisis dilanjutkan dengan BNT 5%.

HASIL

Panjang akar seminal, panjang tunas, panjang koleoptil, rasio panjang akar seminal:panjang tunas, persentase perkecambahan dan *seed vigour index* pada kecambah padi varietas Mira dan IR 64 dengan perlakuan PEG 0 dan -0,5 MPa dapat dilihat pada Tabel 1.

Panjang tunas dan panjang koleoptil kedua varietas padi pada PEG 0 MPa lebih panjang dibandingkan dengan perlakuan PEG -0,5 MPa. Tetapi panjang akar seminal varietas Mira 1 pada perlakuan PEG 0 MPa relatif lebih panjang daripada perlakuan PEG -0,5 MPa. Sedangkan panjang akar seminal varietas IR 64 pada perlakuan PEG 0 MPa relatif lebih pendek daripada perlakuan PEG -0,5 MPa.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa faktor varietas, faktor PEG serta interaksi antara faktor varietas dan PEG tidak menyebabkan perbedaan panjang akar seminal pada kecambah padi varietas Mira 1 dan IR 64 dengan perlakuan PEG 0 dan -0,5 MPa.

Faktor PEG menyebabkan perbedaan panjang tunas

Tabel 1. Ciri-ciri morfologi yang dievaluasi sebagai indikator toleransi cekaman kekeringan pada fase perkecambahan padi (rata-rata ± SD)

Ciri-ciri morfologi	Mira 1		IR 64	
	0 MPa	-0,5 MPa	0 MPa	-0,5 MPa
Panjang akar seminal (cm)	5,44±0,69	5,81±1,09	5,44±0,79	5,01±0,63
Panjang tunas (cm)	1,58±0,06	0,90±0,36	1,99±0,28	0,83±0,01
Panjang koleoptil (cm)	1,01±0,00	0,53±0,00	1,18±0,00	0,60±0,00
Rasio panjang akar seminal:panjang tunas	4,27±2,11 a	4,38±0,53 a	3,40±0,20 a	6,66±1,03 b
Persentase perkecambahan (%)	92±2,58	53,33±1,60	96±2,58	37,67±1,72
<i>Seed vigour index</i>	7,26±0,67	5,90±1,01	7,53±1,01	5,32±0,62

Keterangan: SD=standard deviasi. Angka yang diikuti oleh huruf berbeda adalah berbeda nyata pada taraf signifikan 5% untuk interaksi antara faktor varietas dan PEG.

yang nyata pada taraf signifikansi 5%, sedangkan faktor varietas dan interaksi antara varietas dan PEG tidak menyebabkan perbedaan panjang tunas. Panjang tunas kecambah padi pada PEG 0 MPa (1,78 cm) adalah 2 kali lipat dibandingkan dengan PEG -0,5 MPa (0,87 cm).

Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa faktor PEG menyebabkan perbedaan panjang koleoptil yang nyata pada taraf signifikansi 5%, sedangkan faktor varietas dan interaksi antara varietas dan PEG tidak menyebabkan perbedaan panjang koleoptil. Panjang koleoptil kecambah padi pada PEG 0 MPa 94% (1,1 cm) lebih besar daripada PEG -0,5 MPa (0,57 cm).

Faktor PEG dan interaksi antara varietas dan PEG menyebabkan perbedaan rasio panjang akar seminal:panjang tunas yang nyata pada taraf signifikansi 5%, sedangkan faktor varietas tidak menyebabkan perbedaan rasio panjang akar seminal:panjang tunas. Rasio panjang akar seminal:panjang tunas pada IR 64 dengan perlakuan PEG -0,5 MPa adalah 96% lebih besar daripada IR 64 dengan perlakuan PEG -0,5 MPa, 52% lebih besar daripada Mira 1 dengan perlakuan PEG -0,5 MPa dan 56% lebih besar daripada Mira 1 dengan perlakuan PEG 0 MPa.

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam, faktor PEG menyebabkan perbedaan persentase perkecambahan yang nyata pada taraf signifikansi 5%. Persentase perkecambahan padi pada PEG 0 MPa (94%) 2 kali lipat dibandingkan dengan PEG -0,5 MPa (46%).

Faktor varietas, faktor PEG serta interaksi antara faktor varietas dan PEG tidak menyebabkan perbedaan *seed vigour index* pada kecambah padi varietas Mira 1 dan IR 64 dengan perlakuan PEG 0 dan 0,5 MPa.

PEMBAHASAN

Senyawa PEG bersifat larut dalam air dan dapat menyebabkan penurunan potensial air yang homogen. Besarnya penurunan potensial air sangat bergantung pada konsentrasi dan berat molekul PEG. Sifat PEG yang demikian dapat dimanfaatkan untuk melakukan simulasi penurunan potensial air (Kaufmann dan Eckard, 1971; Bressan *et al.*, 1981). PEG telah digunakan untuk menginduksi kekeringan pada padi, antara lain dalam studi respons pertumbuhan padi sawah dan gogo pada

fase vegetatif awal (Nio dan Kandou, 2000), analisis pertumbuhan dan kandungan protein pada kalus padi sawah (Nio *et al.*, 2001), pengamatan profil protein lini kalus padi yang toleran terhadap kekeringan (Nio, 2002) dan pengujian kandungan klorofil total, klorofil a dan b sebagai indikator cekaman kekeringan (Nio, 2010).

Perkecambahan merupakan fase awal perkembangan tanaman berbiji, yaitu pertumbuhan embrio yang dimulai kembali setelah penyerapan air atau imbibisi (Hidayat, 1985). Pada waktu imbibisi, kandungan air mula-mula meningkat dengan cepat, kemudian lebih lambat. Metabolisme jaringan menjadi aktif sehingga menyebabkan embrio memproduksi sejumlah kecil giberelin. Selanjutnya hormon ini berdifusi ke dalam selapis sel aleuron yang mengelilingi sel cadangan makanan endosperma. Sel-sel endosperma akan membentuk enzim, yaitu amilase, protease dan lipase untuk mencerna dan menggunakan berbagai bahan cadangan makanan yang tersimpan. Kemudian sel-sel endosperma mengalami penguraian dan menjadi bentuk-bentuk terlarut. Pada proses ini sitokinin dan auksin terbentuk yang kemudian merangsang pertumbuhan embrio dan membuat sel-selnya membelah dan membesar (Gardner *et al.*, 1991).

Panjang akar seminal pada kecambah padi varietas Mira 1 dan IR 64 tidak berbeda antara perlakuan PEG 0 dan -0,5 MPa. Tetapi panjang akar kecambah gandum pada kondisi kontrol kira-kira 2 kali lipat dibandingkan pada perlakuan PEG 6000 dengan PA -10 bars (Dhanda *et al.*, 2004). Perbedaan hasil ini disebabkan karena kondisi perkecambahan di *container* dalam penelitian ini tidak memungkinkan akar seminal untuk tumbuh ke bawah (geotropi) seperti pada kecambah di media tanah.

Perlakuan PEG -0,5 MPa menghambat pertambahan panjang tunas karena cekaman kekeringan akan mempengaruhi aspek pertumbuhan secara morfologi, anatomi dan fisiologi (Sutjahjo *et al.*, 2007). Pada saat kekeringan pertumbuhan daun terhambat yang mengakibatkan lebih lambatnya pertambahan luas daun sebelum terjadinya pengaruh pada stomata ataupun fotosintesis tiap satuan luas daun (Hsiao, 1973). Intensitas kekeringan dapat mempengaruhi luas daun pada tanaman produksi dengan cara mempercepat laju penuaan daun dan absisi daun yang tua pada saat terbukanya stomata terhambat (Begg dan Turner, 1976). Kekeringan pada tingkat ringan sampai menengah mengurangi pelepasan daun dan fotosintesis, sehingga akan menurunkan produksi padi (Fukai dan Cooper, 1995).

Panjang koleoptil pada perlakuan PEG -0,5 MPa lebih kecil daripada PEG 0 MPa seperti halnya panjang koleoptil kecambah gandum pada kondisi kontrol kira-kira 2 kali lebih besar dibandingkan perlakuan PEG 6000 dengan PA -10 bars (Dhanda *et al.*, 2004). Hal ini disebabkan karena pada kondisi kekeringan kecambah memusatkan pertumbuhan pada akar (Mahayasa, 2005).

Rasio panjang akar seminal:panjang tunas pada IR 64 dengan perlakuan PEG -0,5 MPa cenderung lebih besar dibandingkan dengan perlakuan lain (Tabel 1). Pada kondisi kekeringan rasio tersebut meningkat karena pertumbuhan daun lebih banyak berkurang daripada pertumbuhan akar (Condon, 1982). Perubahan rasio ini juga diamati pada gandum akibat lebih banyaknya hasil fotosintesis yang dialokasikan di akar (Pugnaire *et al.*, 1999; Nio, 2009). Peningkatan rasio ini menguntungkan bagi tanaman karena dapat memperbesar kapasitas sistem perakaran untuk mengambil lebih banyak air tiap satuan luas daun (Passioura, 1981). Rasio panjang akar seminal:panjang tunas kecambah padi varietas IR 64 yang lebih besar daripada Mira 1 menunjukkan bahwa varietas IR 64 lebih dapat bertahan terhadap cekaman kekeringan dibandingkan dengan Mira 1. Hal ini disebabkan karena IR 64 tergolong padi gogo rancak yang tidak digenangi air pada awal pertumbuhannya dan kemudian digenangi air 5-25 cm pada periode pertengahan sampai akhir pertumbuhannya, sedangkan Mira 1 merupakan padi sawah yang seluruh waktu pertumbuhannya digenangi air 5-25 cm (Taslim dan Fagi, 1988).

Persentase perkecambahan pada PEG -0,5 MPa lebih kecil dibandingkan dengan 0 MPa. Hal ini disebabkan karena perlakuan PEG -0,5 MPa menurunkan potensial air medium yang menginduksi cekaman kekeringan (Lagerwerff *et al.*, 1961; Steuter *et al.*, 1981). Cekaman kekeringan selama pertumbuhan dan perkembangan tanaman dapat menurunkan produksi. Besar kecilnya pengaruh tergantung pada fase pertumbuhan pada saat kekeringan terjadi dan lamanya kekeringan. Tanaman mempunyai toleransi yang berbeda terhadap kekeringan karena perbedaan dalam mekanisme morfologi, fisiologi, biokimia dan molekular (Dhanda *et al.*, 1995). Toleransi terhadap kekeringan melibatkan akumulasi senyawa yang dapat melindungi sel dari kerusakan yang terjadi pada saat potensial air rendah (Jones *et al.*, 1981).

Di antara 6 parameter yang dievaluasi dalam penelitian ini, yang dapat dipakai sebagai indikator toleransi cekaman kekeringan pada kecambah padi adalah rasio panjang akar seminal:panjang tunas seperti yang dilaporkan pada gandum (Dhanda *et al.*, 2004). Peningkatan rasio ini pada saat kekeringan disebabkan oleh terbatasnya pasokan air dan nutrisi untuk tunas dan adanya sinyal hormonal yang diinduksi di akar untuk menghadapi cekaman kekeringan (Sharp dan Davis, 1989).

SIMPULAN

Di antara panjang akar seminal, panjang tunas, panjang koleoptil, rasio panjang akar seminal:panjang tunas, persentase perkecambahan dan *seed vigour index* yang dievaluasi dalam penelitian ini, rasio panjang akar seminal:panjang tunas dapat dipakai sebagai indikator toleransi cekaman kekeringan pada kecambah padi.

KEPUSTAKAAN

- Begg, J.E., N.C. Turner. 1976. Crop Water Deficit. *Adv. Agron.* 28:161-217.
- Bressan, R.A., P.M. Hasegawa, A.K. Handa. 1981. Resistance of Cultured Higher Plant Cells to Polyethylene Glycol-Induced Water Stress. *Plant Sci. Lett.* 21: 23-30.
- Clarke, J.M. 1987. Use of Physiological and Morphological Traits in Breeding Programmes to Improve Drought Resistance of Cereals. J.P. Srivastata, E. Porceddu, E. Acevedo, S. Verma (Eds). *Drought Tolerance Winter Cereal*. John Wiley and Sons: New York. Hal. 171-190.
- Condon, A.G. 1982. Water Relations and Osmotic Adjustment in Wheat as Influenced by Water Stress History and Plant Development. MSc Thesis. Sydney University. Sydney.
- Dewar, R.C. 1993. A Root-Shoot Partitioning Model Based on Carbon-Nitrogen-Water Interaction. *Funct. Ecol.* 7:356-368.
- Dhanda. S.S., R.K. Behl, N. Elbassam. 1995. Breeding Wheat Genotypes for Water Deficit Environments. *Landbanforschung Volkendrode* 45:159-167.
- Dhanda, S.S., G.S. Sethi, R.K. Behl. 2004. Indices of Drought Tolerance in Wheat Genotypes as Early Stages of Plant Growth. *J. Agronomy & Crop Science* 190:6-12.
- Emmerich, W.E., S.P. Haregree. 1991. Seed Germination in Polyethylene Glycol Solution: Effect of Filter Paper Exclusion. *Crop Sci.* 31:454-458.
- Fukai, S., M. Cooper. 1995. Development of Drought-Resistant Cultivars Using Physio-morphological Traits in Rice. *Field Crops Res.* 40:67-86.
- Gardner, F.O., R.B. Perace, R.L. Mitchell. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya (terjemahan). UI Press: Jakarta.
- Gregory, P.J. 1989. The Role of Root Characteristics in Moderating the Effect of Drought. F.W.G. Baker (Ed). *Drought Resistance in Cereals*. CAB International: Wallingford, UK. Hal. 141-150.
- Hidayat, E.B. 1985. Anatomi Tumbuhan Berbiji. ITB: Bandung.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant Responses to Water Stress. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24:519-570.
- Jones, M.M., N.C. Turner, C.B. Osmond. 1981. Mechanisms of Drought Resistance. L.G. Paleg, D. Aspinall (Eds). *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. Academic Press: Sydney. Hal. 15-37.
- Jumin, H.B. 1992. Ekologi Tanaman Suatu Pendekatan Fisiologi. Rajawali Press: Jakarta.
- Kaufmann, M.R., A.N. Eckard. 1971. Evaluation of Water Stress Control with Polyethylene Glycol. *Science* 133:1486-1487.
- Kumar, A.P., D.P. Singh. 1998. Use of Physiological Indices as a Screening Technique for Drought Tolerance in Oilseed *Brassica* Species. *Ann. Bot.* 81:413-420.
- Lagerwerff, J.V., G. Ogata, H.E. Eagle. 1961. Control of Osmotic Pressure of Culture Solutions with Polyethylene Glycol. *Science* 133:1486.
- Lawlor, D.W. 1993. *Photosynthesis Molecular, Physiological and Environmental Processes*. 2nd Ed. Longman Scientific and Technical: England.
- Ludlow, M.M. 1993. Physiological Mechanism of drought Resistance. T.J. Mabry, H.T. Nguyen, R.A. Dixon, M.S. Bonnes (Eds). *Biotechnology for Aridland Plants*. IC2 Institute: Austin.
- Mahayasa, I.N.W. 2005. Karakteristik Pola Perkembangan Tanaman Lontar (*Borussus sundaicus* Becc.) secara Alami

- di Lapangan. Laporan Penelitian. Fakultas Pertanian Universitas Nusa Cendana.
- Michel, B.E. 1983. Evaluation of The Water Potentials of Solutions of Polyethylene Glycol 8000 Both in The Absence and Presence of Other Solutes. *Plant Physiol.* 72:66-70.
- Nio, S.A., F.E.F. Kandou. 2000. Respons Pertumbuhan Padi (*Oryza sativa* L.) Sawah dan Gogo pada Fase Vegetatif Awal terhadap Cekaman Kekeringan. *Eugenia* 6:270-273.
- Nio, S.A., W. Tilaar, J. Assa. 2001. Analisis Pertumbuhan dan Kandungan Protein pada Kallus Padi (*Oryza sativa* L.) Sawah yang Mengalami Cekaman Kekeringan. *Eugenia* 7: 208-212.
- Nio, S.A. 2002. Profil Protein Lini Kalus Padi (*Oryza sativa* L.) yang Toleran terhadap Kekeringan. *Eugenia* 8 (1): 21-29.
- Nio, S.A. 2009. Osmotic Adjustment and Solutes in Leaves of Wheat (*Triticum aestivum* L.) during Water Deficit. PhD Thesis. The University of Western Australia: Perth.
- Nio, S.A. 2010. Pengujian Kandungan Klorofil Total, Klorofil a dan Klorofil b sebagai Indikator Cekaman Kekeringan pada Padi (*Oryza sativa* L.). *SAINS* 10:86-90.
- Passioura, J.B. 1981. Water Collection by Roots. L.G. Paleg, D. Aspinall (Eds). *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. Academic Press: Sydney. Hal. 39-53.
- Premchandra G.S., H. Sameoka, S. Ogata. 1990. Cell Osmotic Membrane-Stability, An Indication of Drought Tolerance, as Affected by Applied Nitrogen in Soil. *J. Agric. Res.* 115:63-66.
- Pugnaire, F.I., L. Serrano, J. Pardos. 1999. Constraints by Water Stress on Plant Growth. M. Passarakli (Ed) *Handbook of Plant and Crop Stress*. 2nd Ed. Marcel Dekker Inc.: New York, Basel.
- Samaatmadja, S.M.M., Ismunadji, M.M. Sumarno, S.O. Syam, T. Manurung. 1985. *Kedelai*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung.
- Sharp, R.E., W.J. Davis. 1989. Regulation of Growth and Development of Plants Growing with A Restricted Supply of Water. H.G. Jones, T.J. Flowers, M.B. Jones (Eds). *Plant under Stress*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Steuter, A.A., A. Mozafar, J.R. Goodin. 1981. Water Potential of Aqueous Polyethylene Glycol. *Plant Physiol.* 67:64-67.
- Sutjahjo, H.S., K. Abdul, M. Ika. 2007. Efektivitas Polietilena Glikol sebagai Bahan Penyeleksi Kalus Nilam yang Dii-radiasi Sinar Gamma untuk Toleransi terhadap Cekaman Kekeringan. Departemen Agronomi dan Hortikultura. Fakultas Pertanian IPB: Bogor.
- Taslim, H., A.M. Fagi. 1988. Ragam Budidaya Padi. M. Ismunadji, S. Partohardjono, M.Syam, A. Widjono (Eds). *Padi Buku 1*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan: Bogor.
- Thornley, J.M. 1998. Modelling Shoot:Root Relations: The Way Forward. *Ann. Bot.* 81:165-171.
- Winter, S.R., T.J. Musick, K.B. Porter. 1988. Evaluation of Screening Techniques for Breeding Drought Resistance Winter Wheat. *Crop Sci.* 28:512-516.