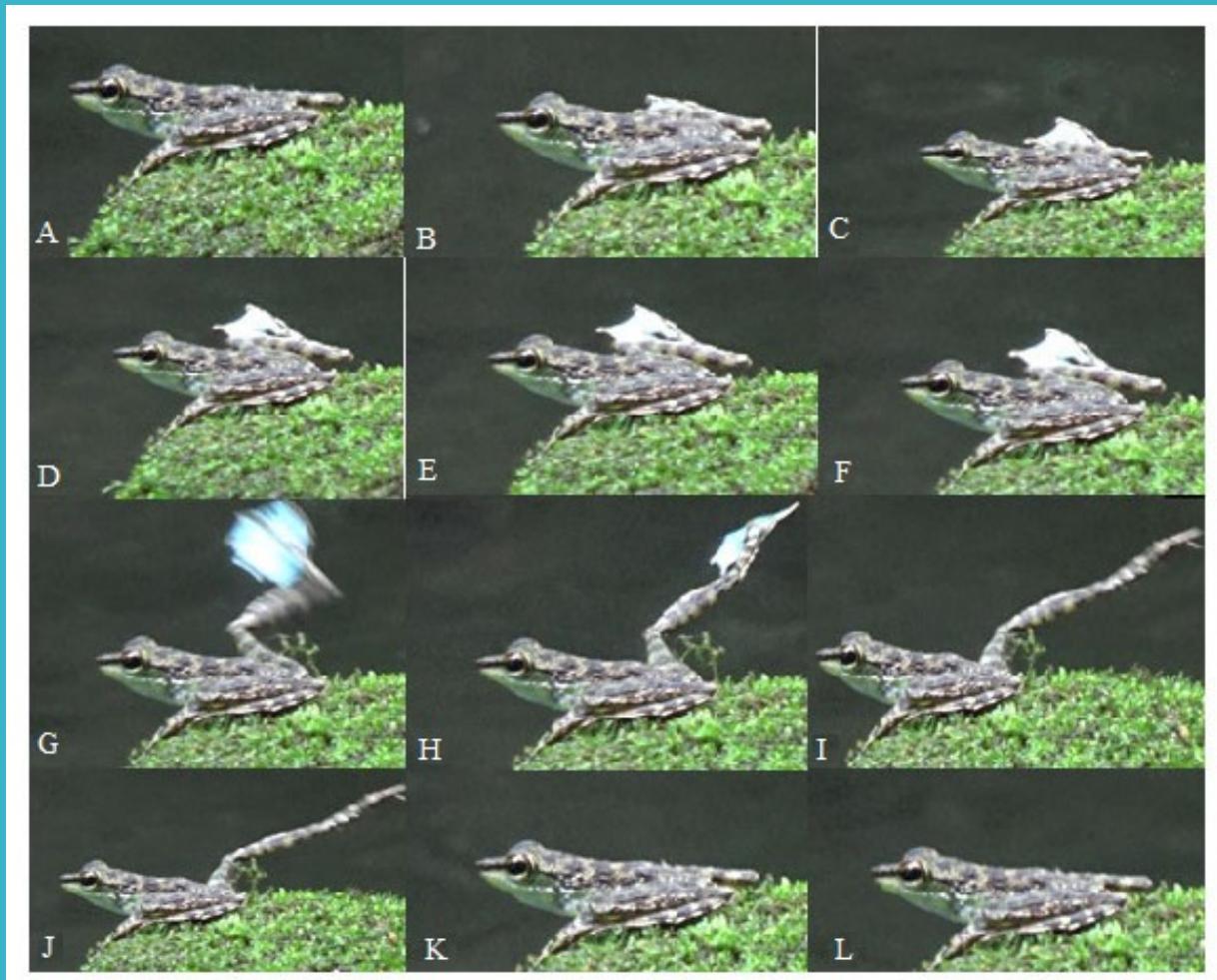


Berita Biologi

Jurnal Ilmu-ilmu Hayati



BERITA BIOLOGI

Vol. 19 No. 3B Desember 2020
Terakreditasi Berdasarkan Keputusan Direktur Jendral Penguanan Riset dan
Pengembangan, Kemenristekdikti RI
No. 21/E/KPT/2018

Tim Redaksi (*Editorial Team*)

Andria Agusta (Pemimpin Redaksi, *Editor in Chief*)
(Kimia Bahan Alam, Pusat Penelitian Kimia - LIPI)

Kusumadewi Sri Yulita (Redaksi Pelaksana, *Managing Editor*)
(Sistematika Molekuler Tumbuhan, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Gono Semiadi
(Mammalogi, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Atit Kanti
(Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Siti Sundari
(Ekologi Lingkungan, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Arif Nurkanto
(Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Kartika Dewi
(Taksonomi Nematoda, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Dwi Setyo Rini
(Biologi Molekuler Tumbuhan, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Desain dan Layout (*Design and Layout*)

Liana Astuti

Kesekretariatan (*Secretary*)

Nira Ariasari, Budiarjo

Alamat (*Address*)

Pusat Penelitian Biologi-LIPI
Kompleks Cibinong Science Center (CSC-LIPI)
Jalan Raya Jakarta-Bogor KM 46,
Cibinong 16911, Bogor-Indonesia
Telepon (021) 8765066 - 8765067
Faksimili (021) 8765059
Email: berita.biologi@mail.lipi.go.id
jurnalberitabiologi@yahoo.co.id
jurnalberitabiologi@gmail.com

Keterangan foto cover depan: *Sequence* gerakan yang ditunjukkan selama *foot-flagging* pada katak jantan (*S. guttatus*); (A) saat istirahat; (B) angkat kaki; (C-F) ekstensi kaki parsial; (G-J) ekstensi kaki penuh; (K-L) istirahat, sesuai dengan halaman 385

(Notes of cover picture): (*Sequence of movements shown during foot-flagging in male frogs (*S. guttatus*)*; (A) at rest; (B) leg lift; (C-F) partial leg extension; (G-J) full leg extension; (K-L) rest), as in page 385)



P-ISSN 0126-1754

E-ISSN 2337-8751

Terakreditasi Peringkat 2

21/E/KPT/2018

Volume 19 Nomor 3B, Desember 2020

Berita Biologi

Jurnal Ilmu-ilmu Hayati

Berita Biologi	Vol. 19	No. 3B	Hlm. 361 – 489	Bogor, Desember 2020	ISSN 0126-1754
----------------	---------	--------	----------------	----------------------	----------------

Ucapan terima kasih kepada
Mitra Bebestari nomor ini
19(3B) – Desember 2020

Dr. Satya Nugroho
(Biologi Molekuler/Rekayasa Genetika Tanaman, Pusat Penelitian Bioteknologi - LIPI)

Dr. Surono, S.P., M.Agr.
(Microbial Ecology/Dark septate endophytic fungi, Balai Penelitian Tanah - Badan Litbang
Pertanian)

Dr. Mirza Dikari Kusrini, M.Si.
(Herpetologi, Ekologi Satwaliar, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor)

Prof. Dr. Dewi Malia Prawiradilaga
(Ekologi Burung, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Mohammad Irham M.Sc.
(Ekologi & Taksonomi Burung, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Dr. Adi Santoso
(Bioteknologi, Pusat Penelitian Bioteknologi - LIPI)

Ir. Endang Purwaningsih
(Taksonomi Nematode pada vertebrata liar, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Gloria Animalesto S.Si.
(Taksonomi Trematoda pada vertebrata liar, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Arif Nurkanto, M.Si.
(Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Dr. Bambang Sunarko
(Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Dr.rer.nat.Dwi Setyo Rini M.Si.
(Biologi Molekuler Tumbuhan, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Dr. Novik Nurhidayat
(Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Dr. Achmad Dinoto M.Sc.
(Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Prof. Dr. Mulyadi
(Biosistematika Copepoda, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

Dr. Conni Margaretha Sidabalok M. App. Sc.
(Biosistematika Isopoda, Pusat Penelitian Biologi - LIPI)

MEKANISME RESPON TANAMAN TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN

[The mechanism of Plant Response to Drought Stress]

Dwi Setyo Rini^{*✉1}, Budiarjo¹, Indra Gunawan¹, Radi Hidayat Agung¹, dan Rina Munazar²

¹Bidang Botani-Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Jalan Raya Jakarta Bogor KM 46, Cibinong, Jawa Barat, 16911

²Pusat Data dan Dokumentasi Ilmiah. Kepustakaan Kawasan Bogor
Jl. Ir. H. Juanda No. 13, Bogor
email: dwi.setyo.rini@lipi.go.id

ABSTRACT

Drought stress is the major abiotic stress affecting plant growth and productivity. This review emphasizes the discussion of plant response mechanisms when experiencing drought stress. The plant develops the strategies under water deficit conditions in the form of drought escape, drought avoidance, drought tolerance, or a combination of those strategies. Drought stimulates a wide variety of plant adaptation by changes in morphological, physiological, biochemical, and molecular levels. This mechanism is organized by a complex signaling network system comprising of signal perception, signal transduction pathway, and the regulation of drought-responsive genes expression.

Keywords: drought stress, plant response mechanisms, signaling network

ABSTRAK

Cekaman kekeringan merupakan bentuk stres abiotik utama yang berpengaruh pada penurunan produktivitas tanaman. Review ini menekankan pada pembahasan mengenai mekanisme respon tanaman ketika mengalami cekaman kekeringan pada lingkungannya. Dalam kondisi stres kering, tanaman akan menerapkan strategi berupa *drought escape*, *drought avoidance*, *drought tolerance*, ataupun gabungan dari ketiganya. Strategi ini kemudian diterjemahkan dalam bentuk adaptasi berupa perubahan morfologis, fisiologis, biokimia, dan molekul tanaman. Mekanisme respon tanaman terhadap cekaman kekeringan melibatkan sistem *signaling network* yang sangat kompleks, yang terdiri dari proses *signal perception*, *signal transduction*, dan regulasi pada gen-gen yang bersifat *drought-responsive*.

Kata kunci: cekaman kekeringan, mekanisme respon tanaman, signaling network

PENDAHULUAN

Air menyusun tidak kurang dari 55-85% bagian dari berat segar jaringan tanaman herba atau sekitar 30-60% berat segar tanaman berkayu (Meyer, 2020). Tanaman mendapatkan air untuk menopang keberlangsungan aktifitas pertumbuhan dan perkembangannya dari lingkungan hidupnya. Cekaman kekeringan, atau biasa diistilahkan dengan stres kering, merupakan salah satu bentuk stres abiotik yang mengakibatkan tidak terpenuhinya kebutuhan air pada tanaman secara optimal (Lambers *et al.*, 2008). Cekaman kekeringan menjadi masalah lingkungan utama yang saat ini mendapat perhatian serius karena berimbas secara langsung pada penurunan produktivitas tanaman (Berry *et al.*, 2013).

Cekaman kekeringan mempunyai definisi yang beragam manakala dilihat dari sudut pandang yang berbeda. Terminologi cekaman kekeringan secara metereologi digambarkan sebagai periode tanpa curah hujan yang terjadi dalam kurun waktu yang lama sehingga menyebabkan berkurangnya ketersediaan air pada tanah. Peningkatan suhu udara lingkungan yang terjadi selama kondisi tersebut

tentunya akan mempengaruhi kehilangan air dalam jumlah besar pada tanaman melalui proses transpirasi yang pada gilirannya akan mengganggu metabolisme tanaman tersebut (Jaleel *et al.*, 2009). Sementara itu, definisi cekaman kekeringan dari sudut pandang ilmu biologi, agronomi, dan pertanian, dapat diartikan sebagai kondisi yang terjadi karena berkurangnya kelembaban dan ketersediaan air tanah terutama disekitar daerah perakaran tanaman sehingga menurunkan tingkat absorpsi air dan nutrisi terlarut dari tanah menuju jaringan tanaman melalui perakarannya. Terhambatnya proses ini pastinya akan mempengaruhi berbagai proses metabolisme tanaman serta akan berimbas pula pada penurunan produktivitasnya (Mannocchi *et al.*, 2003; Taishi *et al.*, 2006; Lal, 2016).

Luasan daratan di dunia yang mengalami cekaman kekeringan adalah sebesar 41%. Sebaran wilayah kering ini paling banyak terdapat di Afrika, diikuti kemudian oleh Asia, Amerika Utara, Oceania, Amerika Selatan, dan Eropa (FAO, 2019). Perubahan iklim (*climate change*) merupakan faktor yang ikut berkontribusi secara signifikan terhadap terjadinya cekaman kekeringan. Perubahan iklim

*Kontributor Utama

*Diterima: 30 November 2020 - Diperbaiki: 21 Desember 2020 - Disetujui: 24 Desember 2020

global yang ditandai dengan peningkatan suhu udara lingkungan serta perubahan cuaca dan curah hujan pastinya akan berdampak secara langsung pada penurunan produktivitas tanaman (Teuling *et al.*, 2013). Diprediksi bahwa perubahan iklim ini akan menjadi semakin parah pada beberapa dekade mendatang (Kim *et al.*, 2019).

Sebagai organisme hidup yang bersifat *sessile* yang tidak mempunyai kemampuan untuk berpindah dari substrat hidupnya, tanaman akan menyesuaikan diri dan beradaptasi terhadap perubahan yang terjadi pada lingkungannya. Ketika tanaman mengalami stres kering yang ditandai dengan kurangnya absorpsi air melalui akar dan meningkatnya laju transpirasi, tanaman akan mengembangkan mekanisme respon yang bersifat sangat kompleks dalam bentuk *network stress signaling*, yang terdiri dari sistem *intracellular signaling*, sistem *transcriptional regulatory*, dan sistem *intercellular communication* (Kuormori *et al.*, 2014). Selanjutnya, mekanisme respon yang bersifat kompleks ini akan diterjemahkan oleh tanaman dalam berbagai bentuk adaptasi pada level morfologi, fisiologi, biokimia, dan molekuler (Duque *et al.*, 2013; Anjum *et al.*, 2011; Shinozaki dan Yamaguchi-Shinozaki, 2007). Tentunya, kemampuan adaptasi tersebut sangatlah tergantung pada genotipe tanaman, tahap pertumbuhannya, serta durasi dan intensitas cekaman kekeringan pada lingkungan (Bray, 2001).

Bentuk adaptasi terhadap cekaman kekeringan

Tanaman beradaptasinya terhadap cekaman kekeringan pada lingkungannya melalui strategi *drought escape*, *drought avoidance*, dan *drought tolerance*, atau kombinasi dari ketiganya (Yadav dan Sharma, 2016). Oleh tanaman, strategi tersebut dikemas dalam berbagai bentuk adaptasi morfologi, fisiologi, biokimia, serta molekuler sebagai satu kesatuan sistem adaptasi tanaman dalam merespon defisit air pada lingkungannya (Wang *et al.*, 2001; Anjum *et al.*, 2011; Zlatev dan Lidon, 2012).

Drought escape berkaitan erat dengan plastisitas tanaman untuk dapat menyelesaikan siklus hidup ataupun fase reproduksinya selama daya dukung lingkungan memungkinkan untuk hidup sebelum menghadapi kondisi stres kering (Kooyers, 2015). Mekanisme *drought escape* ini pada

umumnya terdapat pada tanaman yang mempunyai siklus hidup pendek dan tingkat pertumbuhan tinggi, seperti tanaman jenis umbi-umbian, semak, rumput, dan serealia (Kooyers, 2015; Shavrukov *et al.*, 2017). Strategi *drought escape* juga banyak dijumpai pada tanaman semusim yang bersifat *native* di daerah arid yang mempunyai presipitasi hujan sangat rendah (Touchette *et al.*, 2007).

Kondisi defisit air pada tanaman akan menyebabkan terjadinya dehidrasi seluler akibat perpindahan air dari dalam sel terutama pada bagian sitosol menuju bagian luar sel berupa apoplas sel tanaman (Furlan *et al.*, 2012). Strategi *drought avoidance* umumnya dikembangkan oleh tanaman pada awal terpapar oleh cekaman kekeringan. Bentuk adaptasinya difokuskan pada mekanisme tanaman untuk menjaga *water content* (ketersediaan air) dalam kondisi defisit air di lingkungan hidupnya (Basu *et al.*, 2016). Dalam hal ini, adaptasi fisiologi yang dikembangkan oleh tanaman di antaranya adalah berupa penurunan *transpiration rate* (laju transpirasi) dan *transpiration area* (area transpirasi) yang tentunya bersinergi dengan regulasi *stomatal conductance* berupa menutupnya *guard cells* (sel penjaga) dan reduksi pertumbuhan luasan daun untuk menghindari kehilangan air secara berlebihan dari tanaman (Zlatev, 2005). Selain itu, sistem perakaran akan mengembangkan adaptasi morfologi dalam bentuk *root system architecture* (RSA) untuk memaksimalkan fungsi akar dalam proses absorpsi air melalui *water uptake* dari lingkungan menuju tanaman selama tercekam kekeringan (Blum, 1988; Touchette *et al.*, 2007).

Strategi *drought tolerance* ini diterjemahkan dalam bentuk *osmotic adjustment* (penyesuaian osmotik) serta mekanisme *protection of the membrane system* (perlindungan sistem membran) guna mengatasi efek negatif pada tanaman yang ditimbulkan oleh kondisi tercekam kekeringan (Morgan, 1984; Yi *et al.*, 2016; Chowdhury *et al.*, 2017). Mekanisme *osmotic adjustment* tentunya melibatkan proses biokima pada tingkat sel terutama untuk mempertahankan turgiditas sel (Turner, 2017). Akumulasi senyawa berbentuk solute, seperti prolin, glisin betain, trehalose, dan taurine sangat diperlukan dalam proses *osmotic adjustment* pada sel tanaman (Burg dan Ferraris, 2008; Jayant dan Sarangi, 2014).

Mekanisme *signaling network* pada tumbuhan dalam merespon cekaman kekeringan

Signal perception

Respon tanaman terhadap cekaman kekeringan diawali dengan tahapan *signal perception* yang menjadi bagian dari rangkaian *signaling network* yang sangat kompleks. Selama proses *signal perception*, terjadi pengenalan stimulus dari lingkungan dalam bentuk stres kering oleh tanaman.

Dalam kondisi tercekam oleh kekeringan, tanaman akan mengalami gangguan kesetimbangan air di dalam jaringan tubuhnya dan akan mempengaruhi interaksi antara dinding sel dengan membran plasma (Le Gall et al., 2015). Perubahan tekanan yang ditimbulkan dari interaksi tersebut akan mengaktifasi sensor berupa molekul protein yang berperan dalam menangkap stimulus dari lingkungan sekitarnya (Kacperska, 2004). Aktivasi dari sensor pada tahapan *signal perception* ini selanjutnya akan menginduksi munculnya rangkaian *signal transduction* pada tingkat selular maupun molekuler tanaman untuk selanjutnya diterjemahkan dalam berbagai mekanisme adaptasi dalam kondisi cekaman kekeringan (Kuromori et al., 2014).

Selain itu, kondisi stres kering pada tanaman juga akan memicu terbentuknya sinyal hidrolik (hydraulic signals) yang kemudian akan menginduksi stimulus yang bersifat osmotik (*osmotic stimuli*) maupun mekanik (*mechanical stimuli*). Stimulus yang bersifat osmotik ini akan menurunkan tekanan turgor dan meningkatkan konsentrasi bahan terlarut (solute) didalam sel tanaman, sedangkan stimulus mekanik akan menimbulkan *mechanical force* pada bagian dinding sel tanaman (Comstock, 2002).

Sampai saat ini, berbagai riset masih terus dikembangkan untuk mengetahui jenis ataupun tipe sensor pada tanaman dalam merespon cekaman kekeringan. Beberapa peneliti berasumsi bahwa sensor pada tanaman bersifat homolog dengan *two-component phosphorelay system* (TCS) yang merupakan sistem osmosensor pada bakteri dan yeast (Hohmann, 2002; Meena et al., 2010). Asumsi ini tentunya didukung oleh kenyataan bahwa berkurangnya ketersediaan air pada tanaman selama stres kering juga memicu munculnya stres osmotik (*osmotic stress*) (Ali et al., 2017; Nxele et al., 2017). *Arabidopsis thaliana* Histidine Kinase1(AHK1)

merupakan molekul histidine kinase yang berfungsi sebagai osmosensor dan terletak dibagian membran sel tanaman arabadopsis (Tran et al., 2007). Molekul sensor ini bersifat homolog dengan *two-component system* pada yeast, dan berfungsi untuk mendeteksi perubahan potensial osmotik pada bagian lingkungan luar sel (Urao et al., 2000).

Osmosensor dalam bentuk calcium channel diduga kuat juga ikut terlibat dalam mekanisme *sensing* pada tanaman dalam merespon cekaman kekeringan dari lingkungannya. Dalam hal ini, OSCA (*Hyperosmolality-gated calcium-permeable channels*) merupakan calcium channel yang pada awalnya dikarakterisasi sebagai osmosensor pada bagian membran plasma sel tanaman *Arabidopsis thaliana* (Yuan et al., 2014; Liu et al., 2018). OSCA disinyalir terlibat dibagian 'hulu' dari mekanisme Ca^{2+} *signaling* (Edel dan Kudla, 2015). Peningkatan potensial osmotik ekstraselular dan tegangan pada membran plasma sebagai akibat dari defisit air pada sel tanaman akan menginduksi terbukanya *gate system* pada OSCA1 sehingga memungkinkan proses Ca^{2+} *influx* ke dalam sel untuk mencapai kondisi homeostasis pada sel tersebut (Zhu, 2002; Hou et al., 2014).

Mekanosensitive-like ion channel (MSL) merupakan osmosensor yang bentuk protein multimerik pada bagian membran sel tanaman. MSL berfungsi untuk memediasi *ion flux* melalui membran sel dalam merespon perubahan tekanan pada bagian membran sel ketika terjadi stres osmotik (Basu dan Haswell, 2020). Selain itu, molekul protein lainnya yang terdapat pada membran sel tanaman yang juga berpotensi sebagai sensor dari stres kering adalah RLKs (*Receptor-like Protein Kinases*, Osakabe et al., 2013; Ye et al., 2017) dan integrin (Lü et al., 2007; Brauer et al., 2016).

Selain molekul sensor, mekanisme *sensing* pada tanaman terhadap stimulus dari lingkungannya juga melibatkan komponen *second messenger*. Secara umum, *second messenger* berada dalam bentuk molekul kecil yang berfungsi mentransmisikan 'pesan' dalam bentuk *signal stress* secara intraselular. Selain itu, *second messenger* juga berposisi sebagai *central regulator* karena terhubung langsung dengan kompleks *signaling network* pada tanaman (Jain et al., 2018). Beberapa *second*

messenger telah diketahui terlibat dalam mekanisme respon tanaman terhadap stres kering, diantaranya adalah Ca^{2+} (Tuteja dan Mahajan, 2007; Kuromori et al., 2014; Wilkins et al., 2016), nukleotida siklik (Newton dan Smith, 2004), inositol 1,4,5-trifosfat (IP3) (Drobak dan Watkins, 2000), dan ROS (Reactive oxygen species) (de Carvalho, 2008; Miller et al., 2010).

Signal transduction

Molekul *two-component histidin kinase* yang terlibat dalam mekanisme sensing pada tanaman ketika merespon stress kering, diperkirakan terhubung dengan molekul-molekul protein lainnya dalam proses *signal transduction*. Salah satu jenis molekul protein tersebut adalah protein kinase dalam bentuk MAPK (*Mitogen-activated protein kinase*) (Jonak et al., 2002). Molekul MAPK yang terfosforilasi akan berfungsi sebagai koneksi yang menghubungkan molekul sensor dengan molekul target dalam sistem *MAPK cascade* yang menjadi bagian dari *signaling network* yang sangat kompleks (Taj et al., 2010).

Molekul protein kinase lainnya yang berperan dalam mekanisme *signal transduction* pada tanaman dalam merespon stres kering adalah CDPK (*Calcium-dependent protein kinases*). Molekul ini berperan dalam menangkap sinyal perubahan konsentrasi Ca^{2+} intraselular dan mentransmisikan sinyal tersebut untuk menginduksi proses fosforilasi molekul target (Liese dan Romeis, 2013). Selain itu, molekul CDPK terlibat pula dalam regulasi fitohormon, terutama dalam mekanisme *ABA-mediated signaling* terkait dengan *stomata behaviour* dalam merespon cekaman kekeringan (Asano et al., 2012).

Kondisi stres kering pada tanaman juga memicu terbentuknya stimulus osmotik yang nantinya akan mengaktifasi proses *phospholipid signaling* pada tanaman tersebut (Zhu, 2002). Selain menjadi bagian penting yang menyusun struktur membran plasma sel, senyawa phospholipid (fosfolipid) merupakan komponen aktif yang menghasilkan sejumlah besar molekul *second messenger*. Molekul-molekul tersebut diantaranya adalah inositol 1, 4, 5-trifosfat (IP3), diacilglicerol (DAG), dan asam fosfatidik (PA), yang dihasilkan melalui rangkaian proses

biokimia dengan bantuan enzim fosfolipase, lipid kinase, dan fosfatase (Wang dan Chapman, 2013). Molekul *second messenger* ini selanjutnya akan mentransmisikan signal melalui *phospholipid signaling* untuk meregulasi proses *signal transduction* tanaman yang menjadi bagian dari sistem *signaling network*.

Mekanisme signal transduction pada tanaman dalam kondisi tercekam oleh kekeringan dibangun juga oleh sistem *ABA signaling*. Selama ini, fitohormon ABA (asam absisat) banyak dikenal sebagai 'hormon stres' (Zhou et al., 2019) karena peran pentingnya dalam mekanisme respon tanaman dalam kondisi tercekam. Namun, dalam kondisi normalpun fitohormon ABA juga berperan dalam meregulasi proses-proses fisiologi terkait pertumbuhan dan perkembangan tanaman, seperti dormansi dan perkecambahan biji, morfogenesis embrio, penuaan daun, dan pembentukan kutikula tanaman (Finkelstein et al., 2002, 2008; Sreenivasulu et al., 2012). Sistem *ABA signaling* pada tanaman dalam kondisi stres kering ini berada dalam bentuk *ABA-dependent* dan *ABA-independent cascade* (Nakashima et al., 2009), untuk kemudian proses signaling ini akan menginduksi target yang berupa gen-gen yang terlibat dalam berbagai bentuk adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan, seperti penutupan stomata, penurunan *transpiration rate* dan *water loss*, serta *osmotic adjustment* melalui akumulasi *osmo-compatible solutes* (Shinozaki dan Yamaguchi-Shinozaki, 2000; Pospíšilová et al., 2009; Cutler et al., 2010).

ROS (Reactive oxygen species) signaling ikut mengambil peran penting dalam sistem *signal transduction* pada tanaman. ROS berperan sebagai signal alarm agar tanaman dapat mengembangkan mekanisme adaptasi dalam kondisi tercekam. Pada umumnya, ROS berada dalam bentuk radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$), anion superoksida ($\text{O}_2^{\cdot-}$), hidrogen peroksida (H_2O_2), ataupun oksigen singlet (${}^1\text{O}_2$) (Apel dan Hirt, 2004; Mittler et al., 2004). ROS signaling terkoneksi dengan mekanisme sensing pada fitohormon ABA maupun Ca^{2+} (de Carvalho, 2008). Modulasi pada ROS ini pastinya akan berpengaruh pada mekanisme toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan (Verma et al., 2019).

Regulasi Faktor Transkripsi

Secara molekuler, terdapat ribuan gen yang bersifat *drought-responsive* pada tanaman yang akan teraktifasi ketika ada pemicu berupa stres kering pada media tempat tumbuhnya (Huang et al., 2008). Berdasarkan fungsi dari proteininya, gen-gen yang bersifat *drought-inducible* tersebut dikelompokkan dalam dua grup, yaitu protein fungsional dan protein struktural (Rabbani et al., 2003; Shinozaki et al., 2003). Protein fungsional merupakan protein yang berperan sebagai *metabolic protein* dalam mekanisme toleransi terhadap kondisi tercekam melalui proses proteksi sel dari efek negatif yang ditimbulkan (Barnabas et al., 2008). Proses proteksi sel ini dilakukan tanaman melalui peran dari beberapa komponen protein, seperti *water channel protein*, *compatible solute* (seperti prolin, betain, glisin), protein untuk proses detoksifikasi, hormon ABA, maupun *late embryogenesis abundant* (LEA) (Shinozaki dan Yamaguchi-Shinozaki 2007; Jan et al., 2012). Sementara itu, protein struktural merupakan jenis protein yang berperan dalam proses regulasi *signaling network* yang sangat kompleks pada tanaman dalam merespon cekaman kekeringan. Protein struktural berperan penting dalam proses *sensing*, *signal transduction*, serta regulasi ekspresi gen yang bersifat *drought-responsive*. Kelompok protein struktural ini terdiri dari protein kinase, protein fosfatase, *calmodulin-binding protein*, maupun faktor transkripsi (Shinozaki dan Yamaguchi-Shinozaki, 2007).

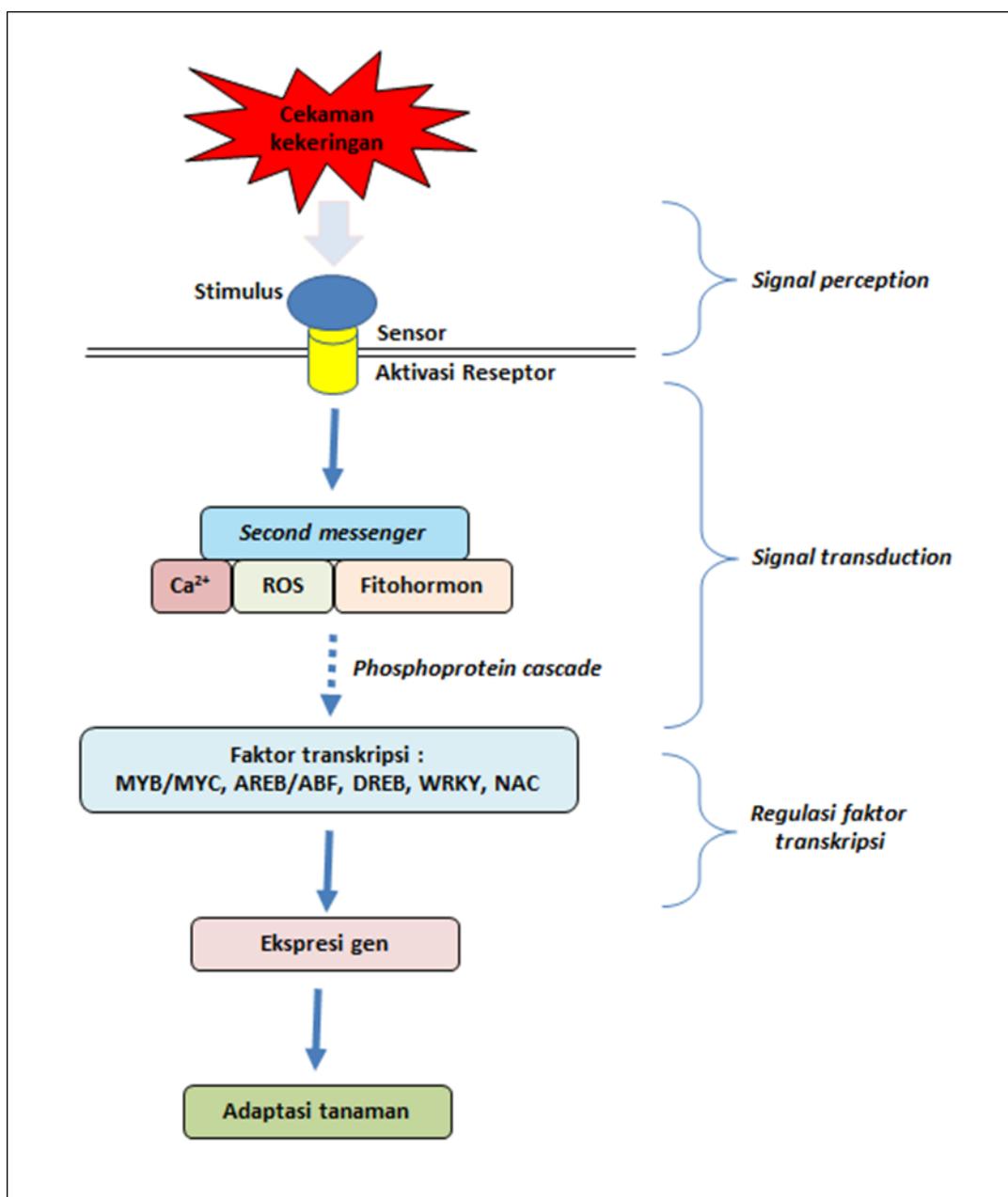
Sejalan dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, beberapa kelompok faktor transkripsi (TF, *transcription factor*) yang terlibat dalam proses ekspresi dari gen-gen yang bersifat *drought-responsive* pada tanaman telah berhasil diidentifikasi melalui metode *genome-wide analysis* (Riechmann et al., 2000; Yao et al., 2007; Liu et al., 2018). Faktor transkripsi ini terkompak dalam beberapa famili yang berbeda, seperti MYB/MXC, AREB/ABF, DREB, WRKY, dan NAC (Wasternack dan Hause, 2002; Yadav et al., 2011; Cominelli et al., 2010; Khan et al., 2018). Analisa fungsional pada berbagai famili TF ini dilakukan melalui proses *knockout* dan *knockdown* pada mutan maupun proses over-

ekspresi pada trasgenik line dari tanaman model, yaitu *Arabidopsis thaliana*, maupun beberapa tanaman pertanian, seperti padi, jagung, gandum, dan kedelai (Zhang et al., 2004; Zheng et al., 2009; Xue et al., 2011; Yang et al., 2016). Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa regulasi dari TF tersebut terlibat dalam mekanisme respon tanaman terhadap berbagai cekaman abiotik, termasuk stres kering. Dalam hal ini, satu molekul TF dapat memodulasi ekspresi dari satu jenis gen maupun beberapa gen sekaligus.

MYB (*myeloblastosis oncogene*) merupakan kelompok famili protein yang anggotanya paling banyak berperan sebagai TF dan berfungsi dalam mengatur berbagai proses pertumbuhan dan perkembangan pada tanaman (Lata et al., 2015). Protein MYB dapat dikenali dari karakter molekulernya dibagian *conserved region* berupa variasi pengulangan (R) domain MYB pada bagian jumlah N-terminus dan berfungsi sebagai DNA *binding region* ataupun interaksi dengan protein lainnya (Dubos et al., 2010). Sementara itu, MYC (*myelocytomatosis oncogene*) mempunyai karakter spesifik berupa motif bHLH (basic-helix-loop-helix) dan bZIP (basic leucine zipper) (Zhu et al., 2003). Pada bagian motif bHLH inilah dimungkinkan terjadinya *binding* antara MYC dengan molekul lainnya membentuk struktur bimolekuler untuk meregulasi proses transkripsi pada gen target (Cui et al., 2019).

Abscisic acid-responsive element binding protein (AREB)/ABF (*ABRE binding factor*) merupakan TF yang menjadi subfamili dari keluarga protein bZIP. AREB/ABF berfungsi dalam regulasi ekspresi gen-gen yang terlibat dalam *ABA-dependent signaling* melalui binding pada bagian ABRE (*ABA binding responsive element*) dari gen target (Uno et al., 2000). Molekul AREB/ABF akan teraktifasi secara total oleh proses fosforilasi pada bagian *conserved region* yang dikatalisis oleh serine/threonine kinase SnRK2s (SNF1-related protein kinase) melalui faktor induksi berupa fitohormon ABA (asam absisat) (Fujita et al., 2011).

Dehydration-responsive element binding 1 (DREB1)/CBF (*C-repeat binding factor*) dan DREB2 merupakan TF yang berperan dalam



Gambar 1. Skema sistem *signaling network* dalam proses adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan. Sistem ini terdiri dari proses *signal perception*, *signal transduction*, dan regulasi faktor transkripsi (Modifikasi dari: Khan et al., 2018). [*The scheme of signaling network system in the process of adapting plants to drought stress. This system consists of a process of signal perception, signal transduction, and regulation of transcription factors (Modification from: Khan et al., 2018)*]

meregulasi ekspresi gen-gen yang diinduksi oleh multi-stres abiotik, termasuk stres kering (Rini, 2019; Wie *et al.*, 2016). DREB2 pertama kali diidentifikasi pada tanaman Arabidopsis, untuk selanjutnya berhasil pula diisolasi dari beberapa tanaman jenis serealia (Qin *et al.*, 2007; Agarwal *et al.*, 2010). Mekanisme regulasi ini dilakukan oleh DREB melalui proses *binding* pada *regulatory element* dibagian promoter gen target sehingga menginduksi ekspresinya (Mitsuda dan Ohme-Takagi, 2009). Regulasi TF DREB ini dilakukan pada gen-gen yang terlibat dalam jalur *ABA-independent signaling* (Riechmann *et al.*, 2000).

WRKY merupakan kelompok TF yang berperan penting dalam meregulasi gen-gen yang terlibat dalam berbagai proses fisiologi pada tanaman, termasuk respon terhadap stres kering (Wang *et al.*, 2019). Regulasi gen yang bersifat *drought-responsive* oleh WRKY dilakukan melalui proses binding pada *W box cis-acting element* yang merupakan *conserved sequence* pada bagian promoter gen target sehingga menginduksi ekspresinya (Rushton *et al.*, 2010). Proses regulasi TF WRKY ini dilakukan melalui jalur ABA signaling (Zhao *et al.*, 2019).

NAM, ATAF1,2 dan CUC2 (NAC) merupakan salah satu famili TF pada tanaman. Ekspresi NAC diinduksi oleh multifaktor, termasuk diantaranya oleh stres abiotik berupa cekaman kekeringan (Fujita *et al.*, 2004). Protein NAC terkonservasi pada bagian *N-terminus* maupun variasi dibagian *C-terminus*. Bagian *N-terminus* dari NAC berperan sebagai *DNA-binding domain* yang diperlukan dalam mendeterminasi gen target (Nuruzzaman *et al.*, 2013). NAC meregulasi gen yang bersifat *drought-responsive* pada jalur *ABA-dependent* dan *ABA-independent signaling*.

Pemuliaan tanaman adaptif terhadap cekaman kekeringan

Pemuliaan tanaman merupakan program perbaikan genetik yang diharapkan dapat menghasilkan varietas baru yang berproduksi tinggi dan adaptif terhadap cekaman kekeringan. Dalam hal ini, salah satu tantangan yang dihadapi adalah berupa kompleksitas dari karakter tanaman yang berkorelasi dengan ketahanannya terhadap stres

kering (*drought-related biological traits*) (Maazou *et al.*, 2016). Karakter tersebut bersifat kuantitatif (*quantitative trait*) dan sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan maupun genotipe tanaman (Fleury *et al.*, 2010).

Pemuliaan tanaman dengan menggunakan teknik kekinian berbasis pada pengetahuan molekuler dan genetik telah berkembang pesat di era *post-genomic*. Varietas baru dalam program pemuliaan tanaman dapat diperoleh melalui metode *genomic-assisted breeding* berupa *marker-assisted selection* (MAS) dan *genomic selection* (GS) (Khan *et al.*, 2016). Teknik MAS melibatkan penggunaan marka molekuler dalam memetakan gen yang spesifik ataupun *quantitative trait loci* (QTLs) yang berasosiasi dengan karakter adaptif terhadap cekaman kekeringan (Varshney *et al.*, 2014). Sementara itu, GS merupakan metode seleksi dalam pemuliaan tanaman yang menitikberatkan pada penggunaan *genome-wide marker* untuk memprediksikan *breeding value* dari masing-masing individu dalam suatu populasi (Würschum *et al.*, 2013). Metode *genomic-assisted breeding* dilaporkan mampu menghasilkan varietas baru yang bersifat resistan terhadap cekaman kekeringan pada beberapa tanaman, diantaranya padi (Vikram *et al.*, 2012), buncis (Thudi *et al.*, 2014), dan kacang tunggak (Chamarthi *et al.*, 2019).

Genome editing merupakan teknik molekuler dalam pemuliaan tanaman yang dapat digunakan untuk membentuk varietas baru (Joshi *et al.*, 2020). Metode *genome editing* berbasis pada sistem *clustered regularly interspaced short palindromic repeats/CRISPR-associated protein 9* (CRISPR/Cas9) pada gen target AREB1 (*ABA-responsive element binding protein1*) dilaporkan mampu meningkatkan toleransi terhadap cekaman kekeringan pada tanaman arabidopsis (Roca Paixão *et al.*, 2019).

Overekspresi gen merupakan metode rekayasa genetik lainnya dalam pemuliaan tanaman. Beberapa studi menunjukkan keberhasilan metode overekspresi gen dalam meningkatkan ketahanan terhadap cekaman kekeringan pada tanaman. Gen target yang digunakan dalam metode overekspresi diantaranya berupa gen *OsPYL1* (*Pyrabactin Resistance1-like/RCAR (REGULATORY COMPO-*

NENTS OF ABA RECEPTORS) (Verma *et al.*, 2019) yang merupakan reseptor dari hormon ABA pada tanaman padi (Park *et al.*, 2009), kelompok gen ARGOS yang mengkode *integral membrane protein* dan berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman padi dan arabidopsis (Shi *et al.*, 2015), serta gen Chalcone Synthase (CHS) pada tembakau yang mengkode enzim yang berperan dalam biosintesis flavonoid dalam menjaga *redox balance* pada sel (Hu *et al.*, 2019). Selain itu, metode overekspresi dapat pula dilakukan dengan menggunakan gen target yang mengkode TF. Overekspresi gen *GmCAMTA* yang merupakan keluarga TF dari kelompok *calmodulin binding transcription activator*, dilaporkan mampu meningkatkan kemampuan resistansi terhadap kondisi stres kering pada tanaman kedelai dan arabidopsis (Noman *et al.*, 2019). Sementara itu, penggunaan gen target *Gm NFYA5* yang merupakan TF dari kelompok NF-Y (*Nuclear transcription factor-Y*) diketahui mampu menghasilkan tanaman arabidopsis transgenik yang resistan terhadap cekaman kekeringan (Ma *et al.*, 2020). Metode *transgene* juga dapat dilakukan antar tanaman C4 dan C3. Ektopik ekspresi dengan menggunakan gen target yang berperan dalam mekanisme fotosintesis C4, seperti PEPC, PPDK, and NADP-ME dilaporkan mampu meningkatkan toleransi kelompok tanaman C3 terhadap cekaman kekeringan (Yadav dan Mishra, 2020).

KESIMPULAN

Cekaman kekeringan merupakan stres abiotik utama dan telah menjadi salah satu masalah krusial dunia. Tanaman yang tercakaman oleh kekeringan akan mengalami penurunan pertumbuhan, perkembangan, serta produktivitas tanaman. Strategi adaptasi dikembangkan oleh tanaman dalam menghadapi kondisi tercekam pada lingkungan hidupnya.

Upaya untuk memahami mekanisme tanaman mengatasi cekaman kekeringan tentunya sangatlah diperlukan. Hal ini dilakukan terutama untuk menghasilkan varietas baru melalui program pemuliaan guna mengurangi efek negatif yang ditimbulkan oleh stres kering tersebut yang

dimungkinkan akan semakin parah seiring dengan terjadinya perubahan iklim global.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, P., Agarwal, P.K., Joshi, A.J., Sopory, S.K. and Reddy, M.K., 2010. Overexpression of PgDREB2A transcription factor enhances abiotic stress tolerance and activates downstream stress-responsive genes. *Molecular Biology Reports*, 37, pp. 1125–1135.
- Anjum, S. A., Xie, Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C. and Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6, pp. 2026–2032.
- Apel, K. and Hirt, H., 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55, pp. 373–399. doi: 10.1146/annurev.applant.55.031903.141701
- Asano, T., Hayashi, N., Kikuchi, S. and Ohsugi, R., 2012. CDPK-mediated abiotic stress signaling. *Plant Signal Behav*, 7, pp. 817–821.
- Ali, F., Bano, A. and Fazal, A., 2017. Recent methods of drought stress tolerance in plants. *Plant Growth Regul*, 82, pp. 363–375. https://doi.org/10.1007/s10725-017-0267-2.
- Anjum, S.A., Xie, X. and Wang, L., 2011. Morphological, physiological, and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6, pp. 2026–2032.
- Barnabas, B., Jäger, K. and Fehér, A., 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environ*, 31, pp. 11–38.
- Basu, D. and Haswell, E.S., 2020. The Mechanosensitive Ion Channel MSL10 Potentiates Responses to Cell Swelling in Arabidopsis Seedlings. *Current Biology*, doi: 10.1016/j.cub.2020.05.015
- Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A. and Pereira, A., 2016. Plant adaptation to drought stress. *F1000Research*, 5, F1000 Faculty Rev-1554. doi.org/10.12688/f1000research.7678.1
- Berry, P., Ramirez Villegas, J. and Branseley, H., 2013. Regional impacts of climate change on agriculture and the role of adaptation. *Plant Genetic Resource and Climate Change*, 4, p.78.
- Blum, A., 1988. Plant breeding for stress environments. CRC Press: Boca Raton, FL.
- Brauer, E. K., Ahsan, N., Dale, R., Kato, N., Coluccio, A. E., Piñeros, M. A., *et al.*, 2016. The Raf-like kinase ILK1 and the high affinity K⁺ transporter HAK5 are required for innate immunity and abiotic stress response. *Plant Physiology*, 171, pp. 1470–1484. doi: 10.1104/pp.16.00035.
- Bray, E.A., 2001. Plant Response to Water-deficit Stress. Encyclopedia of Life Sciences. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Burg, M.B. and Ferraris, J.D., 2008. Intracellular organic osmolytes: function and regulation. *The Journal of biological chemistry*, 283(12), pp. 7309–7313. https://doi.org/10.1074/jbc.R700042200
- Chamarthi S.K., Belko N., Togola A., Fatokun C.A. and Boukar O., 2019. Genomics-Assisted Breeding for Drought Tolerance in Cowpea. In: Rajpal, V., Sehgal, D., Kumar, A., Raina, S., (eds) Genomics Assisted Breeding of Crops for Abiotic Stress Tolerance, Vol. II. Sustainable Development and Biodiversity, vol 21. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99573-1_10.
- Chowdhury, J.A., Karim, M.A., Khaliq, Q.A. and Ahmed, A.U., 2017. Effect of drought stress on bio-chemical change and cell membrane stability of soybean genotypes. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 42(3), pp. 475–485.
- Cominelli, E., Galbiati, M. and Tonelli, C., 2010. Transcription

- factors controlling stomatal movements and drought tolerance. *Transcription*, 1, pp. 41–45.
- Comstock, J., 2002. Hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and transpiration. *Journal of Experimental Botany*, 53, pp. 195–200.
- Cui, Y., Mao, R., Chen, J. and Guo, Z., 2019. Regulation Mechanism of MYC Family Transcription Factors in Jasmonic Acid Signalling Pathway on Taxol Biosynthesis. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(8), pp. 1843; <https://doi.org/10.3390/ijms20081843>
- Cutler, S.R., Rodriguez, P.L., Finkelstein, R.R. and Abrams, S. R., 2010. Abscisic acid: emergence of a core signaling network. *Annual Review of Plant Biology*, 61, pp. 651–679. doi: 10.1146/annurev-arplant-042809-112122
- de Carvalho, M.H.C., 2008. Drought stress and reactive oxygen species. Production, scavenging and signaling. *Plant Signaling & Behavior*, 3(3), pp. 156–165.
- Drobak, B.K. and Watkins, P.A., 2000. Inositol (1,4,5) trisphosphate production in plant cells: an early response to salinity and hyperosmotic stress. *FEBS Lett.*, 481(3), pp. 240–244.
- Dubos C., Stracke R., Grotewold E., Weisshaar B., Martin C. and Lepiniec L., 2010. MYB transcription factors in Arabidopsis. *Trends in Plant Science*, 15, pp. 573–581. doi: 10.1016/j.tplants.2010.06.005.
- Duque, A. S., de Almeida, A. M., da Silva, A. B., da Silva, J. M., Farinha, A. P., Santos, D., Fevereiro, P. and Araújo, S.S., 2013. Chapter 3 Abiotic stress responses in plants: unraveling the complexity of genes and networks to survive, in Abiotic Stress: Plant Responses and Applications in Agriculture, eds Vahdati K., Leslie C. (Croatia: INTECH Open;), pp. 49–102.
- Edel, K.H. and Kudla, J., 2015. Increasing complexity and versatility: how the calcium signaling toolkit was shaped during plant land colonization. *Cell Calcium*, 57, pp. 231–246.
- FAO., 2019. Trees, forests and land use in drylands: the first global assessment – Full report. FAO Forestry Paper No. 184. Rome.
- Finkelstein, R.R., Gampala, S.S. and Rock, C.D., 2002. Abscisic acid signaling in seeds and seedlings. *Plant Cell*, 14 (Suppl.), pp. S15–S45.
- Finkelstein, R., Reeves, W., Ariizumi, T. and Steber, C., 2008. Molecular aspects of seed dormancy. *Annual Review of Plant Biology*, 59, pp. 387–415. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092740
- Fleury, D., Jeffries, S., Kuchel, H. and Langridge, P., 2010. Genetic and genomic tools to improve drought-tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 61 (12), pp. 3211–3222. <https://doi.org/>
- Fujita, M., Fujita, Y., Maruyama, K., Seki, M., Hiratsu, K., Ohme-Takagi, M., Tran, L.S.P., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K., 2004. A dehydration-induced NAC protein, RD26, is involved in a novel ABA-dependent stress-signaling pathway. *The Plant Journal*, 39, pp. 863–876.
- Fujita, Y., Fujita, M., Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., 2011. ABA-mediated transcriptional regulation in response to osmotic stress in plants. *Journal of Plant Research*, 124(4), pp. 509–525. doi: 10.1007/s10265-011-0412-3.
- Furlan, A., Llanes, A., Luna, V. and Castro, S., 2012. Physiological and biochemical responses to drought stress and subsequent rehydration in the symbiotic association peanut-*Bradyrhizobium* sp. ISRN Agronomy, 10.5402/2012/318083.
- Hohmann, S., 2002. Osmotic stress signaling and osmoadaptation in yeasts. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 77(3), pp. 300–372.
- Hou, C., Tian, W., Kleist, T., He, K., Garcia, V., Bai, F., Hao, Y., Luan, S. and Li, L., 2014. DUF221 proteins are a family of osmosensitive calcium-permeable cation channels conserved across eukaryotes. *Cell Research*, 24, pp. 632–635.
- Hu, B., Yao, H., Peng, X., Wang, R., Li, F., Wang, Z., Zhao, M. and Jin, L., 2019. Overexpression of Chalcone synthase improves flavonoid accumulation and drought tolerance in tobacco. *Preprints*, 2019060103 (doi: 10.20944/preprints201906.0103.v1).
- Huang, D., Wu, W., Abrams, Z.R. and Cutler, A.J., 2008. The relationship of drought-related gene expression in *Arabidopsis thaliana* to hormonal and environmental factors. *Journal of Experimental Botany*, 59(11), pp. 2991–3007.
- Jain, M., Nagar, P., Goel, P., Singh, A.K., Kumari S. and Mustafiz, A., 2018. Second messengers: central regulators in plant abiotic stress response. In: Zargar, S., Zargar, M., (eds) *Abiotic stress-mediated sensing and signaling in plants: An omics perspective*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7479-0_2
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural Biology*, 11, pp. 100–105
- Jan, A.T., Singh, P. and Haq, Q., 2012. Plant abiotic stress: Deciphering remedial strategies for emerging problem. *Journal Plant Interact*, 8, pp. 1–12. doi: 10.1080/17429145.2012.702226.
- Jayant, K.S. and Sarangi, S.K., 2014. Effect of drought stress on proline accumulation in peanut genotypes. *Int. J. Adv. Res.*, 2, pp. 301–309.
- Jonak, C., Ökrész, L., Bögre, L. and Hirt, H., 2002. Complexity, cross talk and integration of plant MAP kinase signaling. *Current Opinion in Plant Biology*, 5, pp. 415–424.
- Joshi, R.K., Bharat, S.S. and Mishra, R., 2020. Engineering drought tolerance in plants through CRISPR/Cas genome editing. *3 Biotech*, 10, p. 400. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02390-3>.
- Kacperska, A., 2004. Sensor types in signal transduction pathways in plant cells responding to abiotic stressors: do they depend on stress intensity? *Physiologia Plantarum*, 122, pp. 159–168.
- Khan, A., Sovero, V. and Gemenet, D., 2016. Genome-assisted breeding for drought resistance. *Current Genomics*, 17 (4). DOI: 10.2174/138920291799160211101417.
- Khan, S.A., Li, M.Z., Wang, S.M. and Yin, H.J., 2018. Revisiting the role of plant transcription factors in the battle against abiotic stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(6), pp. 1634.
- Kim, W., Iizumi, T. and Nishimori, M., 2019. Global patterns of crop production losses associated with droughts from 1983 to 2009. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 58(6), pp. 1233–1244.
- Kooyers, N.J., 2015. The evolution of drought escape and avoidance in natural herbaceous populations. *Plant Science*, 234, pp. 155–162. doi: 10.1016/j.plantsci.2015.02.012.
- Kuromori, T., Mizoi, J., Umezawa, T., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K., 2014. Drought Stress Signaling Network. In: Howell S. (eds) *Molecular Biology*. The Plant Sciences, vol 2. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7570-5_7
- Lal, R., 2016. Tenets of soil and landscape restoration. In: Chabay I., Frick M., Helgeson J (eds) *Land restoration – reclaiming landscapes for a sustainable future*. Elsevier Academic Press, Waltham, pp. 79–96.
- Lambers, H., Chapin III, F.S. and Pons, T.L., 2008. *Plant Physiological Ecology*; Springer: New York, NY, USA.
- Lata, C., Muthamilarasan, M. and Prasad, M., 2015. Drought stress responses and signal transduction in plants, in *Elucidation of Abiotic Stress Signaling in Plants*, ed G. K. Pandey (New York, NY: Springer), pp. 195–225.

- Le Gall, H., Philippe, F., Domon, J.M., Gillet, F., Pelloux, J. and Rayon, C., 2015. Cell Wall Metabolism in response to abiotic stress. *Plants (Basel, Switzerland)*, 4(1), pp. 112–166. <https://doi.org/10.3390/plants4010112>
- Liese, A. and Romeis, T., 2013. Biochemical regulation of in vivo function of plant calcium-dependent protein kinases (CDPK). *Biochimica et Biophysica Acta*, 1833, pp. 1582–1589.
- Liu, X., Wang, J. and Sun, L., 2018. Structure of the hyperosmolality-gated calcium-permeable channel OSCA1.2. *Nature Communications*, 9, pp. 5060.
- Lü, B., Chen, F., Gong, Z-H. and Xie, H., 2007. Integrin-like protein is involved in the osmotic stress-induced abscisic acid biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49, pp. 540–549.
- Ma, X.J., Yu, T.F. and Li, X.H. et al., 2020. Overexpression of *GmNFY45* confers drought tolerance to transgenic *Arabidopsis* and soybean plants. *BMC Plant Biology*, 20, p. 123. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02337-z>.
- Maazouz, A.R.S., Tu, J. and Liu, Z., 2016. Breeding for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 7, pp. 1858–1870.
- Mannocchi, F., Todisco, F. and Vergni, L., 2003. Agricultural drought: Indices, definition and analysis. In: UNESCO/IWAHS/IWIA Symposium: The Basis of Civilization – Water Science. International Association of Hydrological Sciences, Roma.
- Meena, N., Kaur, H. and Mondal, A.K., 2010. Interactions among HAMP domain repeats act as an osmosensing molecular switch in group III hybrid histidine kinases from fungi. *Journal of Biological Chemistry*, 285, pp. 12121–12132.
- Meyer, B.S., 2020. Plant-water relations. AccessScience. McGraw-Hill Education. doi:10.1036/1097-8542.525300. <https://www.accessscience.com/content/plant-water-relations/525300>
- Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S. and Mittler, R., 2010. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment*, 33(4), pp. 453–467. doi: 10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x.
- Mitsuda, N. and Ohme-Takagi, M., 2009. Functional analysis of transcription factors in *Arabidopsis*. *Plant and Cell Physiology*, 50, pp. 1232–1248. DOI: 10.1093/pcp/pcp075
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M. and Van Breusegem, F., 2004. Reactive oxygen gene network of plants. *Trends Plant Science*, 9, pp. 490–498. doi: 10.1016/j.tplants.2004.08.009
- Morgan, J.M., 1984. Osmoregulation and Water Stress in Higher Plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35, pp. 299–319. 10.1146/annurev.pp.35.060184.001503
- Nakashima, K., Yusuke, I. and Yamaguchi-Shinozaki, K., 2009. Transcriptional regulatory networks in response to abiotic stresses in *Arabidopsis* and grasses. *Plant Physiology*, 149, pp. 88–95.
- Newton, R.P. and Smith, C.J., 2004. Cyclic nucleotides. *Phytochemistry*, 65, pp. 2423–2437.
- Noman, M., Jameel, A., Qiang, W.D., Ahmad, N., Liu, W.C., Wang, F.W. and Li, H.Y., 2019. Overexpression of *GmCAMTA12* Enhanced drought tolerance in *Arabidopsis* and Soybean. *International journal of molecular sciences*, p. 4849. <https://doi.org/10.3390/ijms20194849>.
- Nuruzzaman, M., Sharomi, A. M. and Kikuchi, S., 2013. Roles of NAC transcription factors in the regulation of biotic and abiotic stress responses in plants. *Frontiers in Microbiology*, 4, pp. 248. doi: 10.3389/fmicb.2013.00248
- Nxele, X., Klein, A. and Ndimba, B.K., 2017. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. *South African Journal of Botany*, 108, pp. 261–266, doi.org/10.1016/j.sajb.2016.11.003.
- Osakabe, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. and Lam-Son Phan Tran, P. L.S., 2013. Sensing the environment: key roles of membrane-localized kinases in plant perception and response to abiotic stress. *Journal of Experimental Botany*, 64(2), pp. 445–458, <https://doi.org/10.1093/jxb/ers354>
- Park, S. Y., Fung, P., Nishimura, N., Jensen, D.R. and Fujii, H., 2009. Abscisic acid inhibits type 2C protein phosphatases via the PYR/PYL family of START proteins. *Science*, 324, pp. 1068–1071. doi: 10.1126/science.1173041.
- Pospíšilová, J., Synková, H., Haisel, D. and Bařková, P., 2009. Effect of abscisic acid on photosynthetic parameters during ex vitro transfer of micropaginated tobacco plantlets. *Biol Plant*, 53, pp. 11–20.
- Qin, F., Kakimoto, M., Sakuma, Y., Maruyama, K., Osakabe, Y., Tran, L.S., Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., 2007. Regulation and functional analysis of *ZmDREB2A* in response to drought and heat stresses in *Zea mays* L. *The Plant Journal*, 50, pp. 54–69.
- Rabbani, M.A., Maruyama, K., Abe, H., Khan, M.A., Katsura, K., Ito, Y., Yoshiwara, K., Seki, M., Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., 2003. Monitoring expression profiles of rice (*Oryza sativa* L.) genes under cold, drought and high-salinity stresses, and ABA application using both cDNA microarray and RNA gel blot analyses. *Plant Physiology*, 133, pp. 1755–1767.
- Riechmann, J.L., Heard, J., Martin, G., Reuber, L., Jiang, C., Keddie, J., Adam, L., Pineda, O., Ratcliffe, O.J., Samaha, R.R., Creelman, R., Pilgrim, M., Broun, P., Zhang, J.Z., Ghandehari, D., Sherman, B.K. and Yu, G., 2000. Arabidopsis transcription factors: genome-wide comparative analysis among eukaryotes. *Science*, 290(5499), pp. 2105–2110.
- Rini, D.S., 2019. Short Communication: Sequence variation of DREB2 gene as a potential molecular marker for identifying resistant plants toward drought stress. *Nusantara Bioscience*, 11(1), pp. 35–43.
- Roca Paixão, J.F., Gillet, F.X. and Ribeiro, T.P., et al., 2019. Improved drought stress tolerance in *Arabidopsis* by CRISPR/dCas9 fusion with a Histone AcetylTransferase. *Scientific Reports*, 9, p. 8080. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44571-y>.
- Rushton, P. J., Somssich, I. E., Ringler, P. and Shen, Q. J., 2010. WRKY transcription factors. *Trends in Plant Science*, 15, pp. 247–258. doi: 10.1016/j.tplants.2010.02.006
- Shavrukov, Y., Kurishbayev, A., Jataev, S., Shvidchenko, V., Zotova, L., Koekemoer, F., de Groot, S., Soole, K. and Langridge, P., 2017. Early flowering as a drought escape mechanism in plants: How can it aid wheat production? *Frontiers in Plant Science*, 8, p. 1950. doi: 10.3389/fpls.2017.01950
- Shi, J., Habben, J.E., Archibald, R.L., Drummond, B.J., Chamberlin, M.A., Williams, R.W., Lafitte, H.R. and Weers, B.P., 2015. Overexpression of ARGOS Genes Modifies Plant Sensitivity to Ethylene, Leading to Improved Drought Tolerance in Both *Arabidopsis* and Maize. *Plant Physiology*, 169(1), pp. 266–282; DOI: 10.1104/pp.15.00780.
- Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., 2007. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), pp. 221–227.
- Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Seki, M., 2003. Regulatory network of gene expression in the drought and cold stress responses. *Current Opinion in Plant Biology*, 6, pp. 410–417.
- Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., 2000. Molecular responses to dehydration and low temperature: Differences and cross-talk between two stress signaling

- pathways. *Current Opinion in Plant Biology*, 3, pp. 217–223.
- Sreenivasulu, N., Harshvardhan, V.T., Govind, G., Seiler, C. and Kohli, A., 2012. Contrapuntal role of ABA: does it mediate stress tolerance or plant growth retardation under long-term drought stress? *Gene*, 506(2), pp. 265–73.
- Taishi, U., Fujita, M. and Fujita, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K., 2006. Engineering drought tolerance in plants: Discovering and tailoring genes to unlock the future. *Current Opinion in Biotechnology*, 17(2), pp. 113–22.
- Taj, G., Agarwal, P., Grant, M. and Kumar, A., 2010. MAPK machinery in plants. Recognition and response to different stresses through multiple signal transduction pathways. *Plant Signaling & Behavior*, 5(11), pp. 1370–1378.
- Teuling, A.J., van Loon, A., Seneviratne, S.I., Lehner, I., Aubinet, M., Heinesch, B., Bernhofer, C., Grünwald, T., Prasse, H. and Spank, U., 2013. Evapotranspiration amplifies European summer drought. *Geophysical Research Letters*, 40(10), pp. 2071–2075.
- Thudi, M., Gaur, P.M., Krishnamurthy, L., Mir, R.R., Kudapa, H., Fikre, A., Kimurto, P., Tripathi, S., Soren, K.R., Mulwa, R., Bharadwaj, C., Datta, S., Chaturvedi, S.K. and Varshney, R.K., 2014. Genomics-assisted breeding for drought tolerance in chickpea. *Functional Plant Biology*, 41(11), pp. 1178–1190. doi: 10.1071/FP13318.
- Touchette, B.W., Iannacone, L.R., Turner, G.E., et al., 2007. Drought tolerance versus drought avoidance: A comparison of plant-water relations in herbaceous wetland plants subjected to water withdrawal and repletion. *Wetlands*, 27, pp. 656–667. https://doi.org/10.1672/0277-5212(2007)27[656:DTVDAA]2.0.CO;2
- Tran, L.S., Urao, T., Qin, F., Maruyama, K., Kakimoto, T., Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., 2007. Functional analysis of AHK1/ATHK1 and cytokinin receptor histidine kinases in response to abscisic acid, drought, and salt stress in Arabidopsis. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 104, pp. 20623–20628.
- Turner, N.C., 2017. Turgor maintenance by osmotic adjustment, an adaptive mechanism for coping with plant water deficits. *Plant, Cell & Environment*, 40, pp. 1–3. doi:10.1111/pce.12839.
- Tuteja, N. and Mahajan, S., 2007. Calcium signaling network in plants: an overview. *Plant signaling & behavior*, 2(2), pp. 79–85. https://doi.org/10.4161/psb.2.2.4176
- Uno, Y., Furihata, T., Abe, H., Yoshida, R., Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., 2000. Arabidopsis basic leucine zipper transcription factors involved in an abscisicacid-dependent signal transduction pathway under drought and high-salinity conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 97, pp. 11632–11637. doi: 10.1073/pnas.190309197
- Urao, T., Miyata, S., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K., 2000. Possible His to Asp phosphorelay signaling in an Arabidopsis two-component system. *FEBS Letters*, 478, pp. 227–232.
- Varshney, R.K., Terauchi, R. and McCouch, S.R., 2014. Harvesting the promising fruits of genomics: Applying genome sequencing technologies to crop breeding. *PLoS Biology*, 12(6), p. e1001883.
- Verma, G., Srivastava, D., Tiwari, P. and Chakrabarty, D., 2019. ROS modulation in crop plants under drought stress. In: Hasanuzzaman M, Fotopoulos V, Nahar K, Fujita M (eds) Reactive oxygen, nitrogen and sulfur species in plants. Chapter 13. https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch13
- Verma, R.K., Santosh Kumar, V.V., Yadav, S.K., Pushkar, S., Rao, M.V. and Chinnusamy, V., 2019. Overexpression of ABA Receptor PYL10 Gene Confers Drought and Cold Tolerance to Indica Rice. *Frontiers Plant Science*, 10, p. 1488. doi: 10.3389/fpls.2019.01488
- Vikram, P., Kumar, A., Singh, A.K. and Singh, N.K., 2012. Rice: genomics-assisted breeding for drought tolerance. In: Tuteja, N., Gill, S.S., Tiburco, A.F., Tuteja, R., (eds). Improving crop resistance to abiotic stress. Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, pp. 715–731.
- Wang, N.N., Xu, S.W., Sun, Y.L., Liu, D., Zhou, L., Li, Y. and Li, X.B., 2019. The cotton WRKY transcription factor (GhWRKY33) reduces transgenic Arabidopsis resistance to drought stress. *Scientific Reports*, 9(724). https://doi.org/10.1038/s41598-018-37035-2
- Wang, W.X., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A., 2001. Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Horticulturae*, 560, pp. 285–292. doi: 10.17660/ActaHortic.2001.560.54
- Wang, X. and Chapman, K.D., 2013. Lipid signaling in plants. *Frontiers Plant Science*, 4(2).
- Wasternack, C. and Hause, B., 2002. Jasmonates and octadecanoids – signals in plant stress response and development. In: Moldave K. ed. Progress in nucleic acid research and molecular biology. New York, Academic press, pp. 165–222.
- Wie, T., Deng, K., Liu, D., Gao, Y., Liu, Y., Yang, M., Zhang, L., Zheng, X., Wang, C., Song, W., Chen, C. and Zhang, Y., 2016. Ectopic Expression of DREB Transcription Factor, AtDREB1A, confers tolerance to drought in transgenic *Salvia miltiorrhiza*. *Plant and Cell Physiology*, 57, pp. 1593–1609. doi: 10.1093/pcp/pcw084.
- Wilkins, K.A., Matthus, E., Swarbreck, S.M., Davies, J.M., 2016. Calcium-Mediated Abiotic Stress Signaling in Roots. *Frontiers Plant Science*, 7, p. 1296. doi: 10.3389/fpls.2016.01296
- Würschum, T., Reif, J.C., Kraft, T., Janssen, G. and Zha, Y., 2013. Genomic selection in sugar beet breeding populations. *BMC Genetics*, 14, p. 85. 10.1186/1471-2156-14-85.
- Xue, G.P., Way, H.M., Richardson, T., Drenth, J., Joyce, P.A. and McIntyre, C.L., 2011. Overexpression of *TaNAC69* leads to enhanced transcript levels of stress up-regulated genes and dehydration tolerance in bread wheat. *Molecular Plant*, 4(4), pp 697–712.
- Yadav, N., Taunk, J., Rani, A., Aneja, B. and Yadav, R.C., 2011. Role of transcription factors in abiotic stress tolerance in crop plants. *Clim. Chang. Plant Abiotic Stress Tolerance*, pp. 605–640.
- Yadav, S. and Mishra, A., 2020. Ectopic expression of C4 photosynthetic pathway genes improves carbon assimilation and alleviate stress tolerance for future climate change. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26, pp. 195–209. https://doi.org/10.1007/s12298-019-00751-8.
- Yadav, S. and Sharma, K.D., 2016. Molecular and morphophysiological analysis of drought stress in plants. In: Rigobelo EC, ed. Plant growth. Rijeka: InTech, pp. 149–173.
- Yang, Y., Chi, Y., Wang, Z., Zhou, Y., Fan, B. and Chen, Z., 2016. Functional analysis of structurally related soybean GmWRKY58 and GmWRKY76 in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 67 (15), pp. 4727–4742. https://doi.org/10.1093/jxb/erw252
- Yao, X., Ma, H., Wang, J. and Zhang, D., 2007. Genome-wide comparative analysis and expression pattern of TCP gene families in *Arabidopsis thaliana* and *Oryza sativa*. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49, pp. 885–897.
- Ye, Y., Ding, Y., Jiang, Q., Wang, F., Sun, J. and Zhu, C., 2017. The role of receptor-like protein kinases (RLKs) in abiotic stress response in plants. *Plant Cell Reports*, 36, pp. 235–242.

- Yi, X.P., Zhang, Y.L., Yao, H.S., Luo, H.H., Gou, L., Chow, W.S. and Zhang, W.F., 2016. Rapid recovery of photosynthetic rate following soil water deficit and re-watering in cotton plants (*Gossypium herbaceum* L.) is related to the stability of the photosystems. *Journal of Plant Physiology*, 193, pp. 23–34.
- Yuan, F., Yang, H., Xue, Y., Kong, D., Ye, R., Li, C., Zhang, J., Theprungsirikul, L., Shrift, T. and Krichinsky, B., et al., 2014. OSCA1 mediates osmotic-stress-evoked Ca²⁺ increases vital for osmosensing in Arabidopsis. *Nature*, 514, pp. 367–371.
- Zhang, J.Z., Creelman, R.A. and Zhu, J-K., 2004. From laboratory to field. Using information from Arabidopsis to engineer salt, cold, and drought tolerance in crops. *Plant Physiology*, 135, pp. 615–621.
- Zhao, X.Y., Qi, C.H., Jiang, H., You, C.X., Guan, Q.M., Ma, F.W., Li, Y.Y. and Hao, Y.J., 2019. The MdWRKY31 transcription factor binds to the MdRAV1 promoter to mediate ABA sensitivity. *Horticulture Research*, 6(66). <https://doi.org/10.1038/s41438-019-0147-1>
- Zheng, X., Chen, B., Lu, G. and Han, B., 2009. Overexpression of a NAC transcription factor enhances rice drought and salt tolerance. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 379, pp. 985–989.
- Zhou, Y., He, R. and Guo, Y. et al., 2019. A novel ABA functional analogue B2 enhances drought tolerance in wheat. *Scientific Reports*, 9, p. 2887 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39013-8>
- Zhu, J.K., 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 53, pp. 247–273. doi:10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329.
- Zlatev, Z. and Lidon, F.C., 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24, pp. 57–72.
- Zlatev, Z.S., 2005. Effects of water stress on leaf water relations of young bean plants. *Journal of Central European Agriculture*, 6, pp. 5–14.

Pedoman Penulisan Naskah Berita Biologi

Berita Biologi adalah jurnal yang menerbitkan artikel kemajuan penelitian di bidang biologi dan ilmu-ilmu terkait di Indonesia. Berita Biologi memuat karya tulis ilmiah asli berupa makalah hasil penelitian, komunikasi pendek dan tinjauan kembali yang belum pernah diterbitkan atau tidak sedang dikirim ke media lain. Masalah yang diliput harus menampilkan aspek atau informasi baru.

Tipe naskah

1. Makalah lengkap hasil penelitian (*original paper*)

Naskah merupakan hasil penelitian sendiri yang mengangkat topik yang *up to date*. Tidak lebih dari 15 halaman termasuk tabel dan gambar. Pencantuman lampiran seperlunya, namun redaksi berhak mengurangi atau meniadakan lampiran.

2. Komunikasi pendek (*short communication*)

Komunikasi pendek merupakan makalah hasil penelitian yang ingin dipublikasikan secara cepat karena hasil temuan yang menarik, spesifik dan atau baru, agar dapat segera diketahui oleh umum. Hasil dan pembahasan dapat digabung.

3. Tinjauan kembali (*review*)

Tinjauan kembali merupakan rangkuman tinjauan ilmiah yang sistematis-kritis secara ringkas namun mendalam terhadap topik penelitian tertentu. Hal yang ditinjau meliputi segala sesuatu yang relevan terhadap topik tinjauan yang memberikan gambaran '*state of the art*', meliputi temuan awal, kemajuan hingga issue terkini, termasuk perdebatan dan kesenjangan yang ada dalam topik yang dibahas. Tinjauan ulang ini harus merangkum minimal 30 artikel.

Struktur naskah

1. Bahasa

Bahasa yang digunakan adalah Bahasa Indonesia atau Inggris yang baik dan benar.

2. Judul

Judul diberikan dalam bahasa Indonesia dan Inggris. Judul ditulis dalam huruf tegak kecuali untuk nama ilmiah yang menggunakan bahasa latin, Judul harus singkat, jelas dan mencerminkan isi naskah dengan diikuti oleh nama serta alamat surat menyurat penulis dan alamat email. Nama penulis untuk korespondensi diberi tanda amplop cetak atas (*superscript*). Jika penulis lebih dari satu orang bagi pejabat fungsional penelitian, pengembangan agar menentukan status sebagai kontributor utama melalui penandaan simbol dan keterangan sebagai kontributor utama dicatatkan kaki di halaman pertama artikel.

3. Abstrak

Abstrak dibuat dalam dua bahasa, bahasa Indonesia dan Inggris. Abstrak memuat secara singkat tentang latar belakang, tujuan, metode, hasil yang signifikan, kesimpulan dan implikasi hasil penelitian. Abstrak berisi maksimum 200 kata, spasi tunggal. Di bawah abstrak dicantumkan kata kunci yang terdiri atas maksimum enam kata, dimana kata pertama adalah yang terpenting. Abstrak dalam Bahasa Inggris merupakan terjemahan dari Bahasa Indonesia. Editor berhak untuk mengedit abstrak demi alasan kejelasan isi abstrak.

4. Pendahuluan

Pendahuluan berisi latar belakang, permasalahan dan tujuan penelitian. Perlu disebutkan juga studi terdahulu yang pernah dilakukan terkait dengan penelitian yang dilakukan.

5. Bahan dan cara kerja

Bahan dan cara kerja berisi informasi mengenai metode yang digunakan dalam penelitian. Pada bagian ini boleh dibuat sub-judul yang sesuai dengan tahapan penelitian. Metoda harus dipaparkan dengan jelas sesuai dengan standar topik penelitian dan dapat diulang oleh peneliti lain. Apabila metoda yang digunakan adalah metoda yang sudah baku cukup ditulis sitasinya dan apabila ada modifikasi maka harus dituliskan dengan jelas bagian mana dan hal apa yang dimodifikasi.

6. Hasil

Hasil memuat data ataupun informasi utama yang diperoleh berdasarkan metoda yang digunakan. Apabila ingin mengacu pada suatu tabel/grafik/diagram atau gambar, maka hasil yang terdapat pada bagian tersebut dapat diuraikan dengan jelas dengan tidak menggunakan kalimat 'Lihat Tabel 1'. Apabila menggunakan nilai rata-rata maka harus menyertakan pula standar deviasinya.

7. Pembahasan

Pembahasan bukan merupakan pengulangan dari hasil. Pembahasan mengungkap alasan didapatkannya hasil dan arti atau makna dari hasil yang didapat tersebut. Bila memungkinkan, hasil penelitian ini dapat dibandingkan dengan studi terdahulu.

8. Kesimpulan

Kesimpulan berisi infomasi yang menyimpulkan hasil penelitian, sesuai dengan tujuan penelitian, implikasi dari hasil penelitian dan penelitian berikutnya yang bisa dilakukan.

9. Ucapan terima kasih

Bagian ini berisi ucapan terima kasih kepada suatu instansi jika penelitian ini didanai atau didukungan oleh instansi tersebut, ataupun kepada pihak yang membantu langsung penelitian atau penulisan artikel ini.

10. Daftar pustaka

Tidak diperkenankan untuk mensitis artikel yang tidak melalui proses *peer review*. Apabila harus menyitir dari "laporan" atau "komunikasi personal" dituliskan '*unpublished*' dan tidak perlu ditampilkan di daftar pustaka. Daftar pustaka harus berisi informasi yang *up to date* yang sebagian besar berasal dari *original papers* dan penulisan terbitan berkala ilmiah (nama jurnal) tidak disingkat.

Format naskah

1. Naskah diketik dengan menggunakan program Microsoft Word, huruf New Times Roman ukuran 12, spasi ganda kecuali Abstrak spasi tunggal. Batas kiri-kanan atas-bawah masing-masing 2,5 cm. Maksimum isi naskah 15 halaman termasuk ilustrasi dan tabel.

2. Penulisan bilangan pecahan dengan koma mengikuti bahasa yang ditulis menggunakan dua angka desimal di belakang koma. Apabila menggunakan Bahasa Indonesia, angka desimal ditulis dengan menggunakan koma (,) dan ditulis dengan menggunakan titik (.) bila menggunakan bahasa Inggris. Contoh: Panjang buku adalah 2,5 cm. Length of the book is 2.5 cm. Penulisan angka 1-9 ditulis dalam kata kecuali bila bilangan satuan ukur, sedangkan angka 10 dan seterusnya ditulis dengan angka. Contoh lima orang siswa, panjang buku 5 cm.

3. Penulisan satuan mengikuti aturan *international system of units*.

4. Nama takson dan kategori taksonomi ditulis dengan merujuk kepada aturan standar yang diajui. Untuk tumbuhan menggunakan *International Code of Botanical Nomenclature* (ICBN), untuk hewan menggunakan *International Code of Zoological Nomenclature* (ICZN), untuk jamur *International Code of Nomenclature for Algae, Fungi and Plant* (ICAFP), *International Code of Nomenclature of Bacteria* (ICNB), dan untuk organisme yang lain merujuk pada kesepakatan Internasional. Penulisan nama takson lengkap dengan nama author hanya dilakukan pada bagian deskripsi takson, misalnya pada naskah taksonomi. Penulisan nama takson untuk bidang lainnya tidak perlu menggunakan nama author.

5. Tata nama di bidang genetika dan kimia merujuk kepada aturan baku terbaru yang berlaku.

6. Untuk range angka menggunakan en dash (-), contohnya pp.1565–1569, jumlah anakan berkisar 7–8 ekor. Untuk penggabungan kata menggunakan hyphen (-), contohnya: masing-masing.

7. Ilustrasi dapat berupa foto (hitam putih atau berwarna) atau gambar tangan (*line drawing*).

8. Tabel

Tabel diberi judul yang singkat dan jelas, spasi tunggal dalam bahasa Indonesia dan Inggris, sehingga Tabel dapat berdiri sendiri. Tabel diberi nomor urut sesuai dengan keterangan dalam teks. Keterangan Tabel diletakkan di bawah Tabel. Tabel tidak dibuat tertutup dengan garis vertikal, hanya menggunakan garis horizontal yang memisahkan judul dan batas bawah.

8. Gambar
Gambar bisa berupa foto, grafik, diagram dan peta. Judul gambar ditulis secara singkat dan jelas, spasi tunggal. Keterangan yang menyertai gambar harus dapat berdiri sendiri, ditulis dalam bahasa Indonesia dan Inggris. Gambar dikirim dalam bentuk .jpeg dengan resolusi minimal 300 dpi, untuk *line drawing* minimal 600dpi.
9. Daftar Pustaka
Situs dalam naskah adalah nama penulis dan tahun. Bila penulis lebih dari satu menggunakan kata ‘dan’ atau *et al.* Contoh: (Kramer, 1983), (Hamzah dan Yusuf, 1995), (Premachandra *et al.*, 1992). Bila naskah ditulis dalam bahasa Inggris yang menggunakan sitasi 2 orang penulis maka digunakan kata ‘and’. Contoh: (Hamzah and Yusuf, 1995). Jika sitasi beruntun maka dimulai dari tahun yang paling tua, jika tahun sama maka dari nama penulis sesuai urutan abjad. Contoh: (Anderson, 2000; Agusta *et al.*, 2005; Danar, 2005). Penulisan daftar pustaka, sebagai berikut:
 - a. **Jurnal**
Nama jurnal ditulis lengkap.
Agusta, A., Maehara, S., Ōhashi, K., Simanjuntak, P. and Shibuya, H., 2005. Stereoselective oxidation at C-4 of flavans by the endophytic fungus *Diaporthe* sp. isolated from a tea plant. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 53(12), pp.1565–1569.
 - b. **Buku**
Anderson, R.C. 2000. *Nematode Parasites of Vertebrates, Their Development and Transmission*. 2nd ed. CABI Publishing. New York. pp. 650.
 - c. **Prosiding atau hasil Simposium/Seminar/Lokakarya.**
Kurata, H., El-Samad, H., Yi, T.M., Khammash, M. and Doyle, J., 2001. Feedback Regulation of the Heat Shock Response in *Escherichia coli*. *Proceedings of the 40th IEEE Conference on Decision and Control*. Orlando, USA. pp. 837–842.
 - d. **Makalah sebagai bagian dari buku**
Sausan, D., 2014. Keanekaragaman Jamur di Hutan Kabungolor, Tau Lumbis Kabupaten Nunukan, Kalimantan Utara. Dalam: Irham, M. & Dewi, K. eds. *Keanekaragaman Hayati di Beranda Negeri*. pp. 47–58. PT. Eaststar Adhi Citra. Jakarta.
 - e. **Thesis, skripsi dan disertasi**
Sundari, S., 2012. Soil Respiration and Dissolved Organic Carbon Efflux in Tropical Peatlands. *Dissertation*. Graduate School of Agriculture. Hokkaido University. Sapporo. Japan.
 - f. **Artikel online.**
Artikel yang diunduh secara online ditulis dengan mengikuti format yang berlaku untuk jurnal, buku ataupun thesis dengan dilengkapi alamat situs dan waktu mengunduh. Tidak diperkenankan untuk mensitis artikel yang tidak melalui proses peer review misalnya laporan perjalanan maupun artikel dari laman web yang tidak bisa dipertangung jawabkan kebenarannya seperti wikipedia.
Himman, L.M., 2002. A Moral Change: Business Ethics After Enron. San Diego University Publication. <http://ethics.sandiego.edu/LMH/oped/Enron/index.asp>. (accessed 27 Januari 2008) bila naskah ditulis dalam bahasa inggris atau (diakses 27 Januari 2008) bila naskah ditulis dalam bahasa indonesia

Formulir persetujuan hak alih terbit dan keaslian naskah

Setiap penulis yang mengajukan naskahnya ke redaksi Berita Biologi akan diminta untuk menandatangani lembar persetujuan yang berisi hak alih terbit naskah termasuk hak untuk memperbaik artikle dalam berbagai bentuk kepada penerbit Berita Biologi. Sedangkan penulis tetap berhak untuk menyebarkan edisi cetak dan elektronik untuk kepentingan penelitian dan pendidikan. Formulir itu juga berisi pernyataan keaslian naskah yang menyebutkan bahwa naskah adalah hasil penelitian asli, belum pernah dan tidak sedang diterbitkan di tempat lain serta bebas dari konflik kepentingan.

Penelitian yang melibatkan hewan dan manusia

Setiap naskah yang penelitiannya melibatkan hewan (terutama mamalia) dan manusia sebagai obyek percobaan/penelitian, wajib menyertakan ‘ethical clearance approval’ yang dikeluarkan oleh badan atau pihak berwenang.

Lembar ilustrasi sampul

Gambar ilustrasi yang terdapat di sampul jurnal Berita Biologi berasal dari salah satu naskah yang dipublikasi pada edisi tersebut. Oleh karena itu, setiap naskah yang ada ilustrasinya diharapkan dapat mengirimkan ilustrasi atau foto dengan kualitas gambar yang baik dengan disertai keterangan singkat ilustrasi atau foto dan nama pembuat ilustrasi atau pembuat foto.

Proofs

Naskah proofs akan dikirim ke penulis dan penulis diwajibkan untuk membaca dan memeriksa kembali isi naskah dengan teliti. Naskah proofs harus dikirim kembali ke redaksi dalam waktu tiga hari kerja.

Pengiriman naskah

Naskah dikirim secara online ke website berita biologi: http://e-journal.biologi.lipi.go.id/index.php/berita_biologi

Alamat kontak

Redaksi Jurnal Berita Biologi, Pusat Penelitian Biologi-LIPI
Cibinong Science Centre, Jl. Raya Bogor Km. 46 Cibinong 16911
Telp: +61-21-8765067, Fax: +62-21-87907612, 8765063, 8765066,
Email: berita.biologi@mail.lipi.go.id atau
jurnalberitabiologi@yahoo.co.id atau
jurnalberitabiologi@gmail.com

BERITA BIOLOGI

Vol. 19(3B)

Isi (*Content*)

Desember 2020

P-ISSN 0126-1754
E-ISSN 2337-8751

TINJAUAN ULANG (*REVIEW*)

TEKNOLOGI PIRAMIDA GEN TANAMAN PADI DALAM MENGHADAPI PERUBAHAN IKLIM GLOBAL

[Pyramiding Gene Technology in Rice to Anticipate the Impact of Global Climate Change]

Fatimah, Joko Prasetyono, dan Sustiprijatno

361 – 371

MEKANISME RESPON TANAMAN TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN

[The Mechanism of Plant Response to Drought Stress]

Dwi Setyo Rini, Budiarjo, Indra Gunawan, Radi Hidayat Agung, dan Rina Munazar

373 – 384

MAKALAH HASIL RISET (*ORIGINAL PAPERS*)

PERILAKU SINJAL AKUSTIK DAN VISUAL DARI KATAK JANTAN *Staurois guttatus* DI GUNUNG

POTENG KALIMANTAN BARAT

[Behavior of Acoustic and Visual Signals From the Male Frog *Staurois guttatus* at Mountain Poteng West Kalimantan]

Mohamad Jakaria, Junardi, dan Riyandi

385 – 391

MONITORING KEANEKARAGAMAN JENIS BURUNG PADA BERBAGAI TUTUPAN LAHAN DI CIBINONG SCIENCE CENTER (CSC), JAWA BARAT

[Monitoring of Bird Diversity in Various Land Cover in Cibinong Science Center (CSC), West Java]

Yohanna

393 – 409

Efektivitas Dosis Karbon Tetraklorida (CCl₄) Terhadap Tikus (*Rattus norvegicus* L.) Sebagai Model Fibrosis Hati

[The Effectiveness Of Carbon Tetrachloride (CCl₄) Dosage On Rats As Animal Model Liver Fibrosis]

Fahri Fahrudin, Sri Ningsih, Hajar Indra Wardhana, Dinda Rama Haribowo, dan Fathin Hamida

411 – 422

LARVA TREMATODA PADA SIPUT AIR TAWAR DI AREAL PERSAWAHAN DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

[Trematode Larvae in Freshwater Snail on Rice Fields Area in Special Region of Yogyakarta]

Soenarwan Hery Poerwanto, Dian Antika Kusuma Dewi, dan Giyantolin

423 – 431

THE FUNCTIONAL CHARACTER OF *Auricularia auricula* CRUDE POLYSACCHARIDES: ANTIOXIDANT AND ANTIBACTERIAL ACTIVITY

[Karakter Fungsional dari Ekstrak Kasar Polisakarida *Auricularia auricula*: Aktivitas Antioksidan dan Antibakteri]

Rizki Rabeca Elfirta dan Iwan Saskiawan

433 – 440

ISOLASI DAN KARAKTERISASI ISOLAT BAKTERI RESISTEN TEMBAGA DARI SUNGAI CISADANE

[Isolation and Characterization of Copper Resistant Bacteria from Cisadane River]

Wahyu Irawati dan Candra Julius Tahya

441 – 450

ANALISIS KERAGAMAN GENETIK AKSESI KEDELAI INTRODUKSI DARI WILAYAH SUBTROPIS BERBASIS MORFOLOGI DAN MOLEKULER

[Morphological and Molecular Based Genetic Diversity Assessment Among Soybean Accessions Introduced from Subtropical Areas]

Rerenstrandika Tizar Terryana, Nickita Dewi Safina, Suryani, Kristianto Nugroho, dan Puji Lestari

451 – 465

EFEK SELENIUM OKSIKLORIDA TERHADAP AKTIVITAS IMUNOMODULATOR DARI EKSOPOLISAKARIDA *Lactobacillus plantarum*

[Effect of Selenium Chloride on Immunomodulatory Activity of Exopolysaccharide by *Lactobacillus plantarum*]

Fifi Afifiati, D.C. Agustina, S. Wirayowidagdo, Kusmiati, dan Atit Kanti

467 – 475

FLUKTUASI KEPADATAN MEGABENTOS DI PERAIRAN KENDARI, SULAWESI TENGGARA

[Density Fluctuation of Megabenthic Fauna in Kendari Waters, South-East Sulawesi]

Ucu Yanu Arbi, Paiga Hanurin Sawonua, dan Hendrik A.W. Cappenberg

477 – 489