



1.1 Latar Belakang

Cabai (*Capsicum annuum* L.) adalah salah satu komoditas penting dan strategis di Indonesia yang memberikan pengaruh signifikan terhadap inflasi dan perekonomian Indonesia yang dinamis. Nilai ekonomi yang tinggi diperlihatkan oleh total area budidaya cabai yang mencapai 308.547 ha dengan provinsi Jawa Tengah, Jawa Barat dan Jawa Timur sebagai area budidaya utama, 2.5 juta ton total produksi tahun 2018, 7.78 ton/ha produktivitas (BPS 2019) dan harga dinamis tinggi dari Rp 4.000 hingga 120.000 per kg (Damayanti dan Yolanda 2019). Indeks inflasi harga konsumen pada Maret 2018 adalah 0.20% disebabkan oleh *administered prices* dan *volatile food* dimana cabai termasuk didalamnya (Setiawan dan Djumena 2018). Nilai inflasi lebih tinggi dari nilai sebelumnya 0.15% pada bulan-bulan yang sama pada 2017 di mana 0.15 poin dipengaruhi secara signifikan oleh harga *volatile goods*. Tingginya nilai ekonomis cabai belum dibarengi dengan produktivitasnya. Terdapat kendala yang dihadapi dalam menjaga dan mempertahankan produktivitas tanaman yang tinggi, terutama terkait dengan musim tanam dan perubahan luas areal produksi akibat alih fungsi lahan. Periode awal tanam (fase vegetatif) yang dilakukan di musim kemarau jarang dilakukan petani karena seringkali akan menghadapi kendala berupa produktivitas cabai yang rendah akibat tekanan kekeringan yang terjadi. Varietas cabai yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap kekurangan air ketika ditanam di musim kering dengan pengairan terbatas umumnya akan menurunkan produksi tanaman secara drastis.

Menurut Siswanto *et al.* (1995) tanaman cabai merah dapat ditanam di berbagai lahan seperti lahan sawah (beririgasi), tegalan (lahan kering), dataran rendah ataupun dataran tinggi, dan mampu tumbuh baik pada musim kemarau (Mei-Okttober) ataupun musim penghujan (Nopember-April). Namun demikian, sebagian besar hasil panen cabai yang baik hanya akan mudah dicapai jika usahatani cabai merah dilakukan pada lahan-lahan yang beririgasi dan subur terutama pada musim kemarau. Sebaliknya pada lahan kering, apalagi lahan kering tadah hujan, pada musim kemarau, hasil yang dapat dicapai sangat kecil. Hal ini terjadi akibat ketersediaan air pada lahan kering tadah hujan saat musim kemarau sangat kecil dan terbatas. Beberapa hasil penelitian membuktikan bahwa perbedaan agroekologi lahan ternyata berpengaruh besar terhadap adaptasi dan daya hasil cabai.

Lahan subur dan sesuai untuk pengembangan berbagai komoditas pertanian semakin berkurang dari tahun ke tahun karena terjadi persaingan penggunaan lahan antara berbagai sektor, baik sektor pertanian maupun non pertanian. Alternatif pilihan yang dapat dilakukan sebagai upaya meningkatkan produksi tanaman dalam rangka memenuhi kebutuhan pangan adalah pendayagunaan lahan marjinal yang didukung oleh adanya varietas unggul dengan karakteristik toleran di lahan marjinal.

Indonesia memiliki potensi lahan pertanian marjinal yang relatif luas, namun belum dimanfaatkan dan dikelola dengan baik. Lahan pertanian marjinal di Indonesia di antaranya adalah lahan kering. Lahan kering merupakan agroekosistem sumberdaya lahan yang mempunyai potensi besar untuk

pengembangan pertanian, baik tanaman pangan, hortikultura (sayuran dan buah-buahan) maupun tanaman tahunan/perkebunan. Pengembangan berbagai komoditas pertanian di lahan kering perlu didorong dan ditingkatkan, karena merupakan salah satu pilihan strategis dalam menghadapi tantangan, terutama untuk meningkatkan produksi pertanian dan mendukung program ketahanan pangan nasional.

Potensi lahan kering di Indonesia sangat besar, yaitu sekitar 78% luas daratan Indonesia atau 148 juta ha, dari luasan tersebut lahan kering yang sesuai untuk budidaya pertanian sekitar 76.22 juta ha (52%), dimana sebagian besar terdapat di dataran rendah (70.71 juta ha atau 93%) dan sisanya di dataran tinggi. Lahan kering dengan kondisi lahan datar bergelombang (lereng < 15%) di dataran rendah luasannya mencakup 23.26 juta ha sesuai untuk pertanian tanaman hortikultura semusim seperti cabai, sementara di dataran tinggi, lahan yang sesuai untuk tanaman hortikultura sebesar 2.07 juta ha (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat 2001).

Masalah yang sering dijumpai pada usahatani tanaman pangan dan hortikultura semusim di lahan kering terutama di luar Jawa, antara lain adalah produksi yang rendah akibat kendala biofisik lahan serta masalah kekurangan air atau kekeringan. Kekeringan adalah pembatas produktivitas tanaman yang berkontribusi cukup besar pada penurunan hasil.

Kekeringan didefinisikan sebagai kondisi dimana air tanah yang tersedia tidak cukup untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Kekeringan dapat menurunkan potensial air tanah sehingga lebih rendah dari potensial air tanaman yang akan berakibat terjadinya plasmolisis (Ghildyal dan Tomar 1982). Cekaman kekeringan akan mengubah keseimbangan air seluler dan secara nyata membatasi pertumbuhan dan hasil tanaman (Morgan 1984).

Kekurangan air mempengaruhi semua aspek pertumbuhan tanaman, yang meliputi proses fisiologi, biokimia, anatomi dan morfologi yang antara lain berupa penghambatan pertumbuhan, penurunan hasil, gangguan integritas membran, perubahan kandungan pigmen, pengaturan osmotik air, dan gangguan aktivitas fotosintetis. Pada saat kekurangan air, sebagian stomata daun menutup sehingga terjadi hambatan masuknya CO_2 dan menurunkan aktivitas fotosintesis, kekurangan air juga menghambat sintesis protein dan dinding sel (Salisbury dan Ross 1992; Benjamin dan Nielsen 2006; Praba *et al.*, 2009).

Tanaman yang tercekam kekeringan ditandai dengan terjadinya penurunan kandungan kadar air, berkurangnya potensial air daun dan hilangnya turgor, penutupan stomata serta berkurangnya pertumbuhan dan pembesaran sel (Jaleel *et al.*, 2009). Tanaman yang mengalami kekurangan air secara umum mempunyai ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh normal (Kurniasari *et al.*, 2010). Kekurangan air menyebabkan penurunan hasil yang sangat signifikan dan bahkan menjadi penyebab kematian pada tanaman (Salisbury dan Ross 1992; Jaleel *et al.*, 2008).

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan oleh tanaman untuk merespons kekurangan air, antara lain: (1) Menutup stomata dan memperlambat perluasan permukaan daun untuk mengurangi laju transpirasi (Campbell *et al.*, 2003), (2) Mengurangi proses pemanjangan akar, kedalaman penetrasi dan diameter akar bagi tanaman yang tidak toleran terhadap kekurangan air, sedangkan yang toleran mempunyai perakaran yang lebih banyak, volume akar yang lebih besar, dan rasio



akar dan tajuk yang besar (Haryati 2008), (3) Akumulasi senyawa biokimia yang berperan dalam penyesuaian osmotik seperti prolin, asam absisat, protein dehidrin, total gula, pati, sorbitol, vitamin C, asam organik, asparгин, glisin-betain, serta superokksida dismutase dan K⁺ yang bertujuan untuk menurunkan potensial osmotik sel tanpa membatasi fungsi enzim (Sinaga 2008).

Kebutuhan air tanaman berbeda-beda tergantung pada jenis tanamannya. Bahkan di dalam jenis yang sama, kebutuhan akan air dapat berbeda tergantung pada varietasnya. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman dalam suatu sistem budidaya tanaman sangat dipengaruhi oleh faktor genetik dan faktor lingkungan. Sitompul dan Guritno (1995) menyatakan bahwa perbedaan susunan genetik merupakan salah satu faktor penyebab keragaman penampilan tanaman. Konstitusi genetik yang akan diekspresikan pada berbagai sifat tanaman, mencakup karakter morfologi, fisiologi, biokimia dan molekuler tanaman, akan menghasilkan keragaman pertumbuhan tanaman. Keragaman penampilan tanaman akibat perbedaan susunan genetik selalu mungkin terjadi sekalipun bahan tanaman yang digunakan berasal dari jenis tanaman yang sama. Karenanya, evaluasi toleransi tanaman terhadap kekurangan air dapat dilakukan dengan mengidentifikasi ciri-ciri morfologi, anatomi, atau fisiologi yang berkaitan erat dengan hasil produksi tanaman di lingkungan yang kekurangan air (Li *et al.*, 2006).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, salah satu solusi dalam mengatasi kendala permasalahan air dan mempertahankan daya hasil cabai dalam kondisi pengairan terbatas adalah dengan perakitan varietas unggul cabai toleran pengairan terbatas.

1.2 Perumusan Masalah

Perakitan varietas toleran pengairan terbatas memerlukan adanya (1) tetua donor yang memiliki toleransi terhadap pengairan terbatas, (2) informasi sifat atau karakter yang terkait dengan toleransi terhadap pengairan terbatas pada tanaman cabai, (3) informasi tentang kendali genetik dari sifat tersebut. Toleransi terhadap kekurangan air (kekeringan) adalah karakter kuantitatif dengan fenotipe dan kendali genetik yang kompleks (McWilliam 1989). Pemahaman dasar genetik toleransi kekurangan air pada tanaman merupakan prasyarat untuk mengembangkan genotipe unggul. Alia *et al.*, (2004) menyatakan bahwa pola pewarisan, variabilitas genetik dan heritabilitas suatu karakter merupakan parameter genetik yang berkaitan dengan proses seleksi dan penggabungan karakter-karakter penting dalam suatu genotipe.

Berdasarkan hal tersebut, maka analisis genetik dan studi metabolomik sifat toleran terhadap pengairan terbatas pada tanaman cabai perlu dilakukan guna menentukan strategi program pemuliaan yang efektif dan efisien untuk memperoleh varietas cabai berdaya hasil tinggi dan toleran terhadap pengairan terbatas.



1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Umum

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan metode seleksi yang efektif dan efisien dalam rangka pembentukan varietas unggul cabai toleran pengairan terbatas.

Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi lingkungan seleksi yang tepat untuk menyeleksi genotipe-genotipe cabai toleran pengairan terbatas
2. Mengidentifikasi dan mengkarakterisasi sifat toleransi terhadap pengairan terbatas pada tanaman cabai
3. Mengidentifikasi genotipe cabai toleran pengairan terbatas
4. Mempelajari parameter genetik tanaman cabai terhadap pengairan terbatas
5. Mempelajari daya gabung umum beberapa genotipe cabai koleksi
6. Mempelajari daya gabung khusus beberapa genotipe cabai koleksi
7. Studi metabolomik toleransi terhadap pengairan terbatas pada tanaman cabai

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan informasi mengenai:

1. Karakteristik lingkungan seleksi, karakteristik sifat toleran tanaman cabai terhadap pengairan terbatas serta sumber gen toleran tanaman cabai terhadap pengairan terbatas yang dapat dijadikan sebagai kandidat tetua pada perakitan cabai toleran kekeringan
2. Kendali genetik karakter toleransi tanaman cabai terhadap pengairan terbatas Penanda metabolismik yang dapat mengindikasikan toleransi tanaman cabai terhadap cekaman kekeringan

Informasi ini dapat membantu para pemulia cabai dalam menentukan strategi program pemuliaan yang efektif dan efisien untuk memperoleh varietas cabai berdaya hasil tinggi dan toleran pengairan terbatas.

Secara umum hasil penelitian ini diharapkan dapat berdampak pada peningkatan produksi cabai nasional dan mengatasi permasalahan kontinuitas pasokan cabai dan menjaga stabilitas harga cabai.

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan adalah:

1. Teridentifikasi suatu lingkungan seleksi yang dapat memperlihatkan adanya interaksi antara genotipe dengan lingkungan
 2. Terdapat setidaknya satu karakter seleksi yang mampu mencirikan sifat toleran tanaman cabai terhadap cekaman pengairan terbatas
- Terdapat setidaknya satu genotipe cabai yang toleran dan satu genotipe cabai yang peka terhadap cekaman pengairan terbatas di antara beberapa genotipe cabai koleksi yang dapat dijadikan sebagai tetua dalam populasi persilangan untuk mempelajari kendali genetik sifat tersebut



4. Sifat toleransi terhadap cekaman kekeringan dikendalikan oleh aksi gen aditif dan terdapat keragaman karakter yang berkaitan dengan toleransi terhadap cekaman kekeringan
5. Terdapat satu genotipe yang mempunyai daya gabung umum baik dan sepasang genotipe yang mempunyai daya gabung khusus baik untuk sifat toleransi cekaman pengairan terbatas.
6. Terdapat minimal satu penanda metabolismik yang mengindikasikan toleransi tanaman cabai terhadap cekaman pengairan terbatas

1.6 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian secara keseluruhan meliputi beberapa kegiatan percobaan, yaitu:

1. Pendugaan parameter genetik toleransi pengairan terbatas pada cabai
2. Metode skrining cepat
3. Pendugaan daya gabung umum, daya gabung khusus dan heterosis
4. Analisis metabolomik

Percobaan 1. diharapkan akan diperoleh : (1) informasi lingkungan seleksi yang memberikan perbedaan penampilan di antara genotipe (2) informasi karakter seleksi untuk mengidentifikasi genotipe toleran (3) informasi genotipe-genotipe cabai yang memiliki toleransi terhadap pengairan terbatas. Dalam perakitan suatu varietas biasanya genotipe toleran dijadikan sebagai donor toleransi untuk memperbaiki genotipe cabai yang berdaya hasil tinggi, namun tidak toleran terhadap cekaman lingkungan.

Percobaan 2. diharapkan akan diperoleh informasi karakter seleksi untuk skrining cepat. Informasi ini sangat berguna dalam rangka efisiensi dalam proses seleksi pada program pemuliaan tanaman cabai toleran pengairan terbatas.

Percobaan 3. dilakukan persilangan antara beberapa genotipe cabai yang diperoleh dari percobaan 1. Enam genotipe cabai disilangkan secara diallel. Hasil silang dialel ini diuji toleransinya terhadap cekaman kekeringan. Diharapkan dari percobaan ini diperoleh informasi nilai duga parameter genetik, daya gabung umum, daya gabung khusus dan heterosis. Informasi ini diperlukan untuk melengkapi informasi yang diperoleh pada percobaan 1.

Percobaan 4. bertujuan mempelajari metabolomik yang berasosiasi dengan sifat toleransi tanaman cabai terhadap pengairan terbatas. Studi metabolismik telah memberikan kontribusi yang signifikan untuk mempelajari dan memahami cekaman secara biologi pada tumbuhan dengan mengidentifikasi senyawa yang berbeda sebagai respons terhadap lingkungannya dan bagian yang mereka mainkan sebagai respon toleransi.

Secara keseluruhan, sasaran yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah diperolehnya pemahaman yang komprehensif terkait toleransi tanaman cabai terhadap cekaman pengairan terbatas dalam rangka mendapatkan strategi pemuliaan cabai untuk toleransi terhadap pengairan terbatas yang efektif dan efisien.

Secara ringkas diagram alir penelitian yang akan dilakukan untuk mengetahui kendali genetik serta sumber-sumber plasma nutfah cabai yang toleran terhadap pengairan terbatas dalam rangka memperoleh strategi pemuliaan cabai yang efektif dan efisien dapat dilihat pada Gambar 1.



1.7 Kebaruan Penelitian

Hasil penelitian ini meliputi penentuan karakter morfologi dan metabolomik yang terkait dengan toleransi terhadap pengairan terbatas pada tanaman cabai serta analisis genetiknya. Kebaruan dalam penelitian ini adalah diperolehnya informasi mengenai:

Genotipe cabai toleran pengairan terbatas yang potensial untuk dijadikan sumber gen toleransi terhadap pengairan terbatas,

Karakter-karakter yang terkait dengan toleransi pengairan terbatas pada tanaman cabai,

Metode penapisan toleransi terhadap pengairan terbatas pada tanaman cabai, Informasi kendali genetik toleransi terhadap pengairan terbatas pada tanaman cabai,

Informasi kandungan metabolit yang berasosiasi dengan toleransi tanaman cabai terhadap pengairan terbatas yang dapat dijadikan sebagai penanda untuk menyeleksi tanaman yang toleran terhadap pengairan terbatas.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

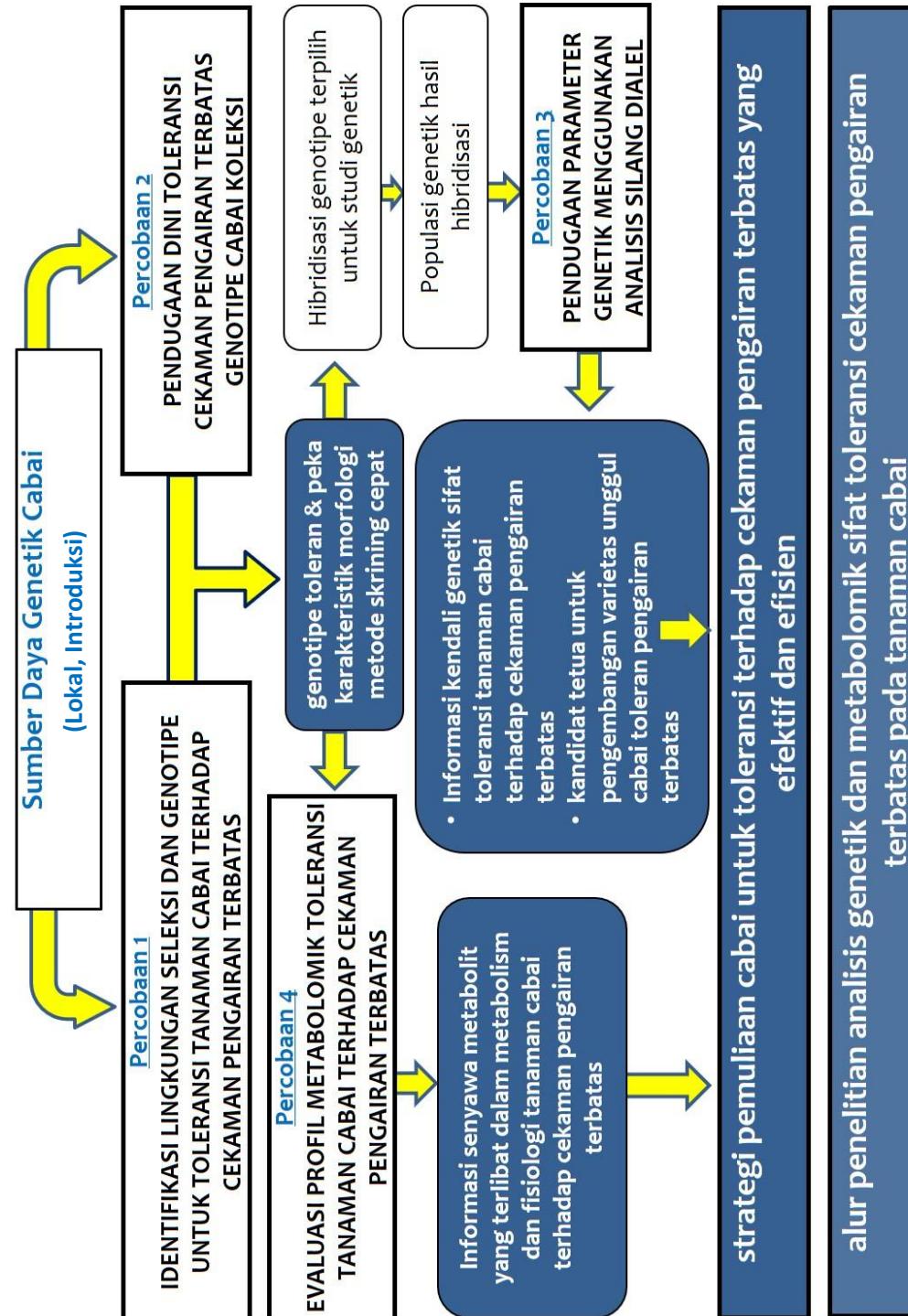
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.





©Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi, Botani dan Syarat Tumbuh Tanaman Cabai

Tanaman cabai termasuk kedalam genus *capsicum* yang merupakan anggota dari famili Solanaceae, seperti halnya tomat, kentang, tembakau, dan petunia. Genus *Capsicum* terdiri atas lima spesies budidaya yaitu *Capsicum annuum*, *C. baccatum*, *C. Chinense*, *C. frutescens*, dan *C. pubescens* serta sekitar 22 spesies liar (Bosland 1996). *C. annuum* merupakan species yang paling banyak dibudidayakan di dunia.

Bunga tanaman cabai umumnya bersifat tunggal dan tumbuh pada ujung ruas, serta merupakan bunga sempurna (hermaprodit). Mahkota bunga berwarna putih atau ungu tergantung kultivarnya, helai mahkota bunga berjumlah lima atau enam helai. Diameter mahkota bunga antara 8-15 mm, tergantung pada spesiesnya. Pada dasar bunga terdapat daun buah berjumlah lima helai, kadang-kadang bergerigi. Setiap bunga memiliki satu putik (*stigma*), dengan kepala putik berbentuk bulat. Terdapat lima sampai delapan helai benang sari dengan kepala sari berbentuk lonjong, berwarna biru keunguan (Greenleaf 1986; Kusandriani 1996).

Pada saat bunga mekar, kotak sari masak dan dalam waktu relatif singkat tepung sari keluar mencapai kepala putik dengan perantaraan serangga atau angin. Tepung sari berbentuk lonjong, terdiri dari tiga segmen, berwarna kuning mengkilat. Dalam satu kotak sari berkembang sekitar 11 000 sampai 18 000 butir tepung sari. Tepung sari umumnya mempunyai ukuran hampir sama antar kultivar (Kusandriani 1996).

Ukuran buah cabai beragam dari pendek sampai panjang, sedangkan ujungnya runcing atau tumpul. Bentuk buah umumnya memanjang. Kedudukan buah adalah buah tunggal pada masing-masing ruas (ketiak daun) atau kadang-kadang *fasciculate*. Permukaan kulit dan warna buah bervariasi dari halus sampai bergelombang, warna mengkilat sampai kusam, hijau, kuning, coklat atau kadang-kadang ungu pada waktu muda dan menjadi merah waktu matang (Greenleaf 1986; Kusandriani 1996).

Buah cabai berongga dengan jumlah rongga bergantung pada kultivarnya. Plasenta tempat melekatnya biji terdapat di dalam rongga buah. Ukuran rongga buah berbeda-beda tergantung ukuran buah. Daging buah renyah, tetapi kadang-kadang lunak tergantung pada kultivarnya. Buah mengandung banyak biji yang terletak di dalam buah, melekat pada plasenta. Umumnya biji cabai berwarna putih kekuningan berbentuk ginjal dan keras, kecuali biji *C. pubescens* yang berwarna hitam (Kusandriani 1996).

Cabai termasuk tanaman yang menyerbuk sendiri, meskipun demikian penyerbukan silang dapat terjadi di lapangan, terutama oleh serangga dan angin. Terdapat perbedaan dalam hal letak kepala putik terhadap kotak sari di antara kultivar-kultivar cabai yang disebut *heterostyly*. Persilangan sering terjadi pada bunga yang memiliki tangkai putik (*stylus*) yang panjang dan kepala putik (*stigma*) yang lebih tinggi daripada kotak sari. Penyerbukan sendiri terjadi pada bunga yang memiliki tangkai putik yang pendek, sehingga letak kepala putik lebih rendah daripada kotak sari (Greenleaf 1986; Kusandriani 1996).

Protogyny, yaitu fase dimana putik mencapai masa siap dibuahi (*receptive*) sebelum tepung sari (pollen) masak, terjadi pada beberapa spesies cabai. Hal ini penting dalam mencegah terjadinya penyerbukan silang untuk menjaga kemurnian varietas cabai (Kusandriani 1996).

Kemampuan bersilang antar spesies (*species crossability*) bervariasi, walaupun semua populasi alami adalah diploid dengan jumlah kromosom $2n = 2x = 24$. Namun demikian, pada persilangan antar spesies tertentu terdapat halangan (*barrier*) (Greenleaf 1986; Kusandriani 1996).

Tanaman cabai dapat ditanam mulai dari ketinggian permukaan laut hingga 3 000 m. Tanaman ini memerlukan cuaca yang panas untuk pertumbuhannya. Suhu siang yang ideal untuk pertumbuhan tanaman cabai rata-rata adalah 20 °C hingga 25 °C. Pertumbuhan tanaman meningkat ketika suhu malam tidak melebihi 20 °C. Bunga tidak berbuahi pada suhu udara di bawah 16 °C atau di atas 32 °C karena produksi tepung sari yang tidak baik. Pembungaan dan pembuahan akan optimum pada suhu antara 20 °C dan 25 °C (Rubatzky dan Yamaguchi 1997).

Cabai tidak menghendaki curah hujan yang tinggi atau iklim yang basah, karena pada keadaan tersebut tanaman akan mudah terserang penyakit, terutama yang disebabkan oleh cendawan. Curah hujan yang baik untuk pertumbuhan tanaman cabai adalah sekitar 600-1 250 mm per tahun (Sumarni 1996).

Tanaman cabai dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah, asal drainase dan aerasi tanah cukup baik. Bila diharapkan panen yang lebih cepat, cabai sebaiknya ditanam pada tanah lempung berpasir. Bila diharapkan panen lebih lambat cabai lebih cocok ditanam pada tanah yang lebih berat atau tanah liat. Tanah juga harus mengandung cukup bahan organik, unsur hara, dan air, serta bebas dari gulma, nematoda dan bakteri layu. Tingkat kemasaman (pH) tanah: 5.5-6.8 merupakan keadaan yang baik untuk tanaman cabai (Knott dan Deanon 1970 diacu dalam Sumarni 1996). Keadaan pH tanah sangat penting karena erat kaitannya dengan ketersediaan unsur hara dalam tanah. Apabila ditanam pada tanah yang mempunyai pH lebih dari 7, tanaman cabai akan menunjukkan gejala klorosis, yakni tanaman kerdil dan daun menguning yang disebabkan oleh kekurangan unsur hara besi (Fe). Sebaliknya, pada tanah yang ber-pH kurang dari 5, tanaman cabai juga akan tumbuh kerdil, karena kekurangan unsur hara kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) atau keracunan alumunium (Al) dan mangan (Mn) (Knott 1962, diacu dalam Sumarni 1996).

Tanah yang paling ideal untuk tanaman cabai adalah yang mengandung bahan organik sekurang-kurangnya 1.5% dan mempunyai pH 6.0-6.5. Suhu tanah juga merupakan faktor penting karena sangat erat hubungannya dengan penyerapan unsur hara oleh tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu tanah dari 13.3 °C menjadi 14.4 °C dapat meningkatkan produksi buah cabai (Knott dan Deanon 1970, diacu dalam Sumarni 1996).

2.2 Konsep dan Mekanisme Toleransi Tanaman terhadap Pengairan Terbatas

Air merupakan komponen utama pada tanaman. Menurut Fitter dan Hay (1994) kandungan air pada tanaman dapat mencapai 70-90% dari bobot segar jaringan dan organ tanaman, dan sebagian besar dikandung dalam sel. Air adalah molekul bipolar dengan ikatan hidrogen di antara molekul air yang berdekatan.



Struktur air ini menyebabkan fungsi mekanik dan fisiologi di dalam tanaman. Fungsi mekanik air ialah tekanan air pada dinding sel yang bertanggung jawab terhadap turgiditas dan rigiditas tanaman. Pada tingkat jaringan, air berfungsi sebagai penghubung di antara sel tanaman secara berkesinambungan dari akar ke daun melalui xylem dan ditranspirasikan melalui stomata dan kutikula (Widodo 2009).

Noggle dan Fritz (1983) menjelaskan fungsi air bagi tanaman yaitu: (1) sebagai senyawa utama pembentuk protoplasma, (2) sebagai pelarut bagi masuknya mineral-mineral dari larutan tanah ke tanaman dan sebagai pelarut mineral nutrisi yang akan diangkut dari suatu bagian sel ke bagian sel yang lain, (3) sebagai media terjadinya reaksi-reaksi metabolismik, (4) menjaga turgiditas sel dan berperan sebagai tenaga mekanik pembesaran sel. Dari peran tersebut, maka konsekuensi langsung atau tidak langsung bila air tidak cukup tersedia akan mempengaruhi semua proses metabolismik tanaman, sehingga menurunkan pertumbuhan dan produksi tanaman.

Ketersediaan air dalam tubuh tanaman diperoleh melalui proses fisiologis dan hilangnya air dari permukaan bagian tanaman melalui proses evaporation dan transpirasi. Tanaman dengan luas daun yang besar akan mengalami kehilangan air yang besar melalui transpirasi. Bila suplai air berlangsung pada tingkat yang normal maka akan menjamin kestabilan tekanan turgor yang berkaitan dengan proses membukanya stomata, sebaliknya bila tanaman mengalami kekurangan suplai air sedangkan proses transpirasi berlangsung cepat maka yang terjadi adalah kekurangan air dalam tanaman (Roy 2009).

Kekeringan atau cekaman kekurangan air adalah salah satu faktor lingkungan yang cukup besar pengaruhnya dalam menurunkan produksi/hasil pada budidaya tanaman di seluruh dunia. Dalam konteks budidaya tanaman, kekeringan didefinisikan sebagai tidak tersedianya air yang mencukupi, termasuk kapasitas penyimpanan air dan presipitasi tanah, baik dalam jumlah maupun penyalurannya, selama siklus hidup suatu tanaman yang menyebabkan terbatasnya ekspresi potensi genetik tanaman secara penuh (Sinha 1986 dalam Kumar *et al.*, 2012). Dampak kekeringan pada produksi tanaman telah dibuktikan pada awal abad ketujuh belas, yang dikenal sebagai "kekeringan Sahel", disebabkan karena pengaruh dari intervensi manusia terhadap deforestasi secara berlebihan dan industrialisasi (Held *et al.*, 2005).

Memahami respon tanaman terhadap kekurangan air sangatlah penting dalam rangka untuk memilih tanaman yang lebih toleran terhadap cekaman (Reddy *et al.*, 2004). Toleransi tanaman terhadap kekurangan air menurut Mitra (2001) adalah kemampuan tanaman untuk berproduksi dengan kerugian minimum secara ekonomi di bawah lingkungan yang kekurangan air tanpa adanya manajemen pengairan.

Mekanisme adaptasi dimana tanaman dapat bertahan hidup pada kondisi kekeringan menurut De Leonardis *et al.*, (2012) dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu:

- 1) *Drought escape* atau lolos dari kekeringan adalah kemampuan suatu tanaman untuk menyelesaikan siklus hidupnya sebelum terjadinya kekurangan air didalam tanah dan tanaman. Mekanisme ini meliputi perkembangan fenologis yang cepat, misalnya: umur berbunga dan umur pemasakan yang cepat.

Drought avoidance atau penghindaran kekeringan adalah kemampuan suatu tanaman untuk bertahan pada periode dengan curah hujan yang rendah atau dengan kata lain kemampuan tanaman untuk mempertahankan potensial air jaringan relatif tinggi meskipun terjadi kekurangan kadar air tanah, sehingga dapat menghindari kerusakan akibat cekaman kekurangan air. Mekanisme penghindaran kekeringan terkait dengan mekanisme fisiologis keseluruhan tanaman, seperti toleransi kanopi dan pengurangan luas daun (yang mengurangi radiasi, adsorpsi dan transpirasi), penutupan stomata, pembentukan lilin kutikula, dan pengaturan *sink* dan *source* melalui perubahan kedalaman dan kepadatan akar, pembentukan rambut akar dan konduktansi hidrolik akar.

Drought Tolerance atau toleransi kekeringan adalah kemampuan tanaman untuk mempertahankan kelembaban pada kondisi potensial air yang rendah (Levitt 1980). Mekanisme toleransi terhadap kekeringan pada tanaman dilakukan dengan menyeimbangkan turgor melalui penyesuaian osmotik (akumulasi zat terlarut dalam sel), peningkatan elastisitas didalam sel tetapi menurunkan ukuran sel dan toleransi pengeringan melalui toleransi protoplasmik (Ugherughe 1986).

2.3 Karakteristik Tanaman Cabai Toleran Terhadap Pengairan Terbatas

Pertumbuhan tanaman cabai memerlukan ketersediaan air yang cukup tinggi, sehingga tanaman ini tidak tahan terhadap kekeringan, terutama pada masa kritis. Masa kritis tanaman cabai terjadi ketika pertumbuhan vegetatif cepat, pembungaan, dan pembuahan. Kebutuhan air tanaman cabai berkisar antara 355-550 mm/musim (Kurnia *et al.*, 2002; Tala'ohu *et al.*, 2002).

Tahap kritis dari cekaman kekeringan pada tanaman cabai adalah pada awal masa pembungaan (Kurnia *et al.*, 2002; Ismail 2002; Bahadur *et al.*, 2011) dan pembentukan buah (Bahadur *et al.*, 2011). Menurut Ismail (2010) periode yang paling sensitif terhadap kekurangan air adalah pada awal masa pembungaan dan penipisan air tanah pada zona akar selama periode ini tidak boleh melebihi 25%. Kekurangan air sesaat sebelum dan selama awal berbunga akan mengurangi jumlah buah. Pengaruh defisit air terhadap hasil selama periode ini akan lebih besar dalam kondisi suhu tinggi dan kelembaban rendah. Sementara Bahadur *et al.*, (2011) menyatakan bahwa kekeringan yang dialami tanaman cabai pada fase pembungaan dan pembentukan buah akan berdampak pada pengguguran bunga dan buah muda, penurunan produksi bahan kering dan serapan hara serta rendahnya viabilitas benih.

Dalam rangka mengembangkan kultivar toleran kekeringan, sangat penting untuk mengembangkan metode skrining yang efisien dan kriteria seleksi yang sesuai (Athar dan Ashraf 2009). Pemuliaan untuk toleransi terhadap kekeringan dengan cara menyeleksi karakter hasil pada tanaman cabai dianggap tidak mungkin bisa berhasil (Fernandez 1992), karenanya beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengidentifikasi karakter seleksi yang tepat untuk toleransi terhadap kekeringan pada tanaman cabai.

Berdasarkan hasil penelitian Showemimo *et al.*, (2007) yang mengukur tingkat respon dari beberapa karakter agronomi tanaman cabai terhadap perbedaan pengaturan pengairan menggunakan indeks toleransi terhadap kekeringan: indeks



toleransi (TI), produktivitas rata-rata (MP) dan persen kematian (%I) diketahui bahwa ketiga indeks toleransi ini dapat mengidentifikasi karakter agronomis penting pada cabai secara tepat, seperti hasil buah, jumlah buah dan jumlah bunga yang gugur, selain itu, karakter tinggi tanaman, peningkatan jumlah buah dan cabang juga dapat digunakan dalam merumuskan kriteria *screening* dan seleksi untuk toleransi kekeringan pada tanaman cabai.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Kulkarni dan Phalke (2008) mengenai sistem perakaran 12 kultivar cabai dibawah kondisi cekaman kekeringan yang berbeda memberikan hasil bahwa terdapat perbedaan genetik untuk pertumbuhan sistem ukuran perakaran pada saat pemasakan. Pertumbuhan akar primer, sekunder dan lateral memiliki relevansi dengan hasil buah di bawah kondisi kelembaban tanah yang rendah, karena kultivar dengan sistem perakaran yang lebih besar menghasilkan produksi biomassa yang lebih tinggi di bawah kondisi kekeringan.

Kombinasi pembuluh xilem yang lebih besar dan lebih kecil di bawah kondisi cekaman kekeringan menyebabkan toleransi yang lebih baik terhadap cekaman kekeringan. Hasil ini menunjukkan bahwa dinamika pertumbuhan akar di bawah kondisi kekeringan mungkin menjadi faktor kunci untuk memahami kontribusi akar terhadap toleransi kekeringan. Hubungan yang erat antara variasi genotipe karakter perakaran di bawah kondisi cekaman kekeringan dengan hasil buah menunjukkan bahwa karakter ini dapat digunakan secara lebih jauh untuk pemuliaan tanaman cabai toleran kekeringan (Kulkarni dan Phalke 2008).

Hasil penelitian Campos *et al.*, (2012) menunjukkan bahwa keterbatasan difusi CO₂ akibat penutupan stomata merupakan faktor utama yang dapat diamati pada cekaman kekeringan yang semakin meningkat. Penutupan stomata membatasi difusi CO₂ ke kloroplast dan menyebabkan pengurangan konsentrasi CO₂ internal, dan menyebabkan penurunan aktivitas enzim Rubisco. Pada saat bersamaan, cekaman air mengurangi efisiensi transport elektron dalam fotosintesis dengan cara memutuskan rantai transport elektron terutama dari sisi akseptor PSII ke akseptor electron terminal PSI, membatasi regenerasi laju asimilasi RuBP dan CO₂.

Pengembangan toleransi kekeringan dalam adaptasi tanaman adalah merupakan hasil dari keseluruhan ekspresi banyak sifat pada lingkungan spesifik. Karena banyak karakter adaptasi yang hanya efektif untuk aspek tertentu dari toleransi kekeringan dan dalam rentang cekaman kekeringan yang terbatas, maka tidak ada karakter tunggal yang dapat digunakan pemulia untuk memperbaiki produktivitas dari suatu tanaman pada lingkungan yang kekurangan air. Sehingga alternatif pendekatan sistematis yang potensial adalah mengumpulkan berbagai karakter dalam satu genotipe tanaman (*pyramiding*) yang dapat memperbaiki toleransinya terhadap kekeringan. Dalam konteks ini Subbarao *et al.*, (2005) mengemukakan bahwa karakter-karakter, baik fisiologis maupun morfologi, yang berkontribusi untuk mengetahui adanya kehilangan air melalui transpirasi, dan meningkatkan efisiensi penggunaan air atau menekan kehilangan hasil adalah karakter-karakter yang dituju.

2.4 Simulasi Kekeringan dengan Polyethylene Glycol (PEG)

Polyethylene Glycol (PEG) disebut juga makrogol, merupakan polimer sintetik dari oksietilen dengan rumus struktur $H(OCH_2CH_2)_nOH$, dimana n merupakan jumlah rata-rata gugus oksietilen. PEG umumnya memiliki bobot molekul antara 200-30000. Penamaan PEG umumnya ditentukan dengan bilangan yang menunjukkan bobot molekul rata-rata. Kepadatannya sangat dipengaruhi oleh bobot molekul. PEG dengan bobot molekul 200-600 (PEG 200-600) berbentuk cair, PEG 1500 berbentuk semi padat, dan PEG 3000-20000 berbentuk padatan semi kristalin, dan PEG dengan bobot molekul lebih besar dari 100000 berbentuk seperti resin pada suhu kamar (Margaret 2008).

PEG merupakan senyawa yang dapat menurunkan potensial osmotik larutan melalui aktivitas matriks sub-unit etilena oksida yang mampu mengikat molekul air dengan ikatan hidrogen. (Rahayu *et al.*, 2005). Kelarutan semua tingkat dari PEG larut dalam air, larut dalam aseton, diklorometan, etanol dan metanol, agak sukar larut dalam hidrokarbon alifatik dan eter, tidak larut dalam lemak dan minyak mineral. Polimer ini mudah larut dalam berbagai pelarut, titik leleh dan toksitasnya rendah, berada dalam bentuk semi kristalin. Kebanyakan PEG yang digunakan memiliki bobot molekul antara 4000-20000, khususnya PEG 6000 yang merupakan serpihan *wax* berbentuk padat, berwarna putih dengan suhu lebur sebesar 55-63 °C (Margaret, 2008).

Menurut Michel dan Kaufmann (1973) larutan PEG 6000 dengan konsentrasi 5% mempunyai potensial osmotik -0.13 MPa (1.26 bar) sedangkan konsentrasi 20% mempunyai potensial osmotik -0.71 MPa (7.06 bar). Tanah dalam kondisi kapasitas lapang mempunyai potensial osmotik 0.33 bar dan dalam kondisi titik kelembapan kritis (koefisien layu) mempunyai potensial osmotik 15 bar.

Simulasi cekaman kekeringan banyak dilakukan dengan menggunakan larutan osmotikum yang dapat mengontrol potensial air dalam media tanaman. Terdapat tiga jenis bahan osmotikum yang sering digunakan yaitu melibiose, mannitol dan polietilena glikol (PEG), (Efendi, 2009). Menurut Verslues *et al.*, (1998) di antara ketiga bahan osmotikum tersebut ternyata PEG merupakan bahan yang terbaik untuk mengontrol potensial air dan tidak dapat diserap tanaman atau menyebabkan keracunan pada tanaman.

Menurut Michel & Kaufman (1973) penggunaan larutan PEG menyebabkan penurunan potensial air secara homogen sehingga dapat digunakan untuk meniru besarnya potensial air tanah. Penurunan potensial air tergantung pada konsentrasi dan bobot molekul PEG yang terlarut. Total massa -CH₂-O-CH₂- atau kekuatan matriks subunit-etilen dalam mata rantai polimer PEG merupakan faktor penting yang mengontrol besarnya penurunan potensial air. Bila PEG dilarutkan dalam air maka molekul air (H₂O) akan tertarik ke atom oksigen pada subunit etilen oksida melalui ikatan hidrogen sehingga menyebabkan potensial air menurun. Semakin pekat konsentrasi PEG semakin banyak zat terlarut yang menahan masuknya air ke dalam jaringan tanaman akibatnya akar tanaman semakin sulit untuk menyerap air (Ro, 2009).



Menurut Chazen dan Neumann (1994), sebagai agen penyeleksi, PEG 6000 dilaporkan lebih unggul dibandingkan manitol, sorbitol, atau garam karena tidak bersifat toksik terhadap tanaman, tidak dapat diserap oleh sel akar dan secara homogen menurunkan potensial osmotik larutan. Penggunaan larutan PEG 6000 dengan konsentrasi 5–20% diharapkan dapat menciptakan potensial osmotik yang setara dengan kondisi tanah kapasitas lapang dan titik kelembaban kritis.

2.5 Studi Metabolomik Toleransi Tanaman terhadap Pengairan Terbatas

Studi metabolomik telah memberikan kontribusi yang signifikan untuk mempelajari dan memahami cekaman secara biologi pada tumbuhan dengan mengidentifikasi senyawa yang berbeda sebagai respon terhadap lingkungannya dan bagian yang mereka mainkan sebagai respon toleransi (Jorge *et al.*, 2016). Profil metabolomik pada tanaman cabai terkait kondisi kekurangan air belum banyak diketahui. Pengetahuan terhadap profil metabolomik cabai pada kondisi kekurangan air akan sangat membantu para pemulia tanaman cabai untuk menyeleksi tanaman cabai yang toleran terhadap pengairan terbatas.

Melalui evaluasi profil senyawa metabolit hasil GC-MS dari genotipe cabai dengan tingkat toleransi yang berbeda terhadap kekurangan air, diharapkan dapat mengungkap metabolit-metabolit yang terlibat dalam metabolisme dan fisiologi tanaman cabai yang tercekam kekurangan air, sehingga dapat digunakan untuk memahami perakitan varietas yang toleran terhadap kekurangan air. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh pengairan terbatas terhadap komposisi senyawa metabolit tiga genotipe cabai hasil seleksi yang menunjukkan tingkat toleransi berbeda terhadap pengairan terbatas. Informasi yang didapat dari penelitian ini berguna bagi pemulia tanaman cabai dalam penyeleksian dini genotipe cabai toleran terhadap pengairan terbatas.

2.6 Analisis Silang Dialet

Persilangan dialet adalah persilangan dengan menggunakan seluruh kombinasi persilangan yang mungkin di antara sekelompok tetua, termasuk persilangan sendiri tetua. Penggunaan rancangan persilangan diallel dapat mengeksplorasi daya gabung umum dan daya gabung khusus, serta heterosis dan heterobeltiosis. Pemanfaatan heterosis dan heterobeltiosis sangat penting untuk perakitan hibrida karena dapat menyebabkan peningkatan kuantitas dan kualitas hasil.

Analisis yang akurat dari desain persilangan ini menjadi penting tidak hanya secara teoritis tetapi juga secara ekonomi. Program persilangan dialet merupakan pendekatan sistematis guna mendeteksi tetua dan persilangannya yang tepat untuk karakter yang diteliti. Selain itu, analisis dialet memberi kesempatan pemulia tanaman untuk memilih metode seleksi yang paling efisien dengan menyediakan pendugaan beberapa parameter genetik, sebab secara analitik teknik persilangan dialet ini merupakan evaluasi genetik menyeluruh yang berguna dalam mengidentifikasi potensi persilangan terbaik pada generasi awal (Johnson 1963 *dalam* Agustina *et al.*, 2005)

Penggunaan analisis dialel memberikan peluang untuk dilakukannya penilaian daya gabung (Dudley *et al.*, 1999), menduga efek aditif dan dominan dari suatu populasi yang selanjutnya dapat digunakan untuk menduga ragam genetik dan heritabilitas (Baihaki 2000) serta dapat juga untuk menduga nilai heterosis dari kombinasi persilangan yang dilakukan. Dengan menggunakan analisis silang dialel pendugaan parameter genetik bisa dilakukan pada F1, tanpa harus membentuk populasi F2, BCP1 atau BCP2, seperti pada pendugaan parameter genetik lainnya.

Dalam penerapannya, analisis dialel harus memenuhi beberapa asumsi berikut: 1) merupakan segregasi diploid, 2) tidak ada perbedaan pada persilangan resiproknya, 3) tidak terdapat pengaruh gen linkage, 4) tidak terjadi peristiwa multiple alel, 5) tetua homozigot, 6) gen berdistribusi bebas di antara tetua (Hayman 1954).

Pada umumnya tanaman memiliki dua set kromosom atau diploid, demikian pula dengan tanaman cabai (Greenleaf 1986). Proses perpasangan kromosom pada saat pembelahan sel meiosis dalam pembentukan gamet pada individu diploid akan berlangsung normal, sehingga gamet-gamet yang dihasilkan akan terbentuk dengan sempurna. Menurut Syukur (2013) studi tentang kromosom dan pemuliaan tanaman serta analisis segregasi Mendel akan lebih mudah pada tingkat ploidi diploid.

Daya gabung adalah kemampuan genotipe untuk mewariskan sifat yang diinginkan kepada keturunannya. Daya gabung umum adalah kemampuan suatu genotipe menunjukkan kemampuan rata-rata keturunannya bila disilangkan dengan sejumlah genotipe lain yang dikombinasikan. Daya gabung umum yang besar, menunjukkan bahwa tetua tersebut merupakan penggabung yang baik, sedangkan daya gabung khusus adalah kemampuan individu tetua untuk menghasilkan keturunan yang unggul jika disilangkan dengan kombinasi yang spesifik dengan tetua lainnya. Daya gabung khusus yang tinggi menunjukkan tetua tersebut mempunyai kombinasi hibrida yang tinggi.

Pengetahuan mengenai DGU dan DGK diperlukan pada tahap awal usaha perbaikan karakter tanaman untuk mengidentifikasi kombinasi tetua mana yang akan menghasilkan turunan yang berpotensi hasil tinggi. Produksi hasil yang tinggi dapat dicapai jika turunan dari kombinasi tetua tersebut memiliki heterosis positif dan daya gabung yang tinggi. Heterosis merupakan bentuk penampilan superior hibrida yang dihasilkan bila dibandingkan dengan kedua tetuanya (Hallauer dan Miranda 1995 *dalam* Syukur *et al.*, 2011).



III IDENTIFIKASI LINGKUNGAN SELEKSI DAN GENOTIPE UNTUK TOLERANSI TANAMAN CABAI TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN

3.1 Abstract

There is a lot of diversity of chili in Indonesia, but the tolerance to less irrigation has not been widely identified. Lack of water is one of the constraints on chili production. Less irrigation tolerance evaluation requires information about effective selection methods that can distinguish responses between genotypes. 7-day interval watering or equivalent to 52-58% field capacity can be used as a Less irrigation-tolerant selection environment. Evaluating the tolerance of chili genotypes in pots under controlled conditions in the screen house shows the character of the root to shoot ratio as a character that can distinguish the response of some chili genotypes in dealing with lack of water conditions. Drought sensitivity index (DSI) based on the root to shoot ratio character can show the diversity of tolerance levels of 23 chili genotypes to less irrigation. Chili genotypes of IPB C-5, IPB C-7, IPB C-8, IPB C-12, IPB C-20, IPB C-37, IPB C-145, SSP, Gada MK F1, Yuni, and Syakira are belong to the category very tolerant genotypes , while genotypes of IPB C-10, IPB C-19, IPB C-51, IPB C-120, IPB C-142, IPB C-143, IPB C-160, Seloka, Anies, Bonita and, Jalapeno belong to sensitive genotype category, Yuni genotype is moderat tolerant and C18 genotype belong to the tolerant group.

3.2 Abstrak

Terdapat banyak keragaman jenis cabai di Indonesia, namun toleransinya terhadap pengairan terbatas belum banyak teridentifikasi. Kekurangan air merupakan salah satu pembatas pada produksi cabai. Pengujian toleransi terhadap pengairan terbatas membutuhkan informasi metode seleksi yang efektif dan dapat membedakan respon antar genotip. Interval penyiraman 7 hari atau setara dengan 52-58% KL dapat digunakan sebagai lingkungan seleksi toleransi terhadap pengairan terbatas. Pengujian toleransi genotip cabai di dalam pot dalam kondisi terkendali di rumah kasa memperlihatkan karakter rasio akar tajuk sebagai karakter yang dapat membedakan respon beberapa genotipe cabai dalam menghadapi kondisi kekurangan air. Indeks sensitivitas kekeringan (ISK) berdasarkan karakter rasio akar tajuk dapat memperlihatkan adanya keragaman tingkat toleransi 23 genotipe cabai terhadap pengairan terbatas. Genotipe cabai IPB C-5, IPB C-7, IPB C-8, IPB C-12, IPB C-20, IPB C-37, IPB C-145, SSP, Gada MK F1 dan Syakira termasuk ke dalam kategori genotipe sangat toleran, sementara genotipe IPB C-10, IPB C-19, IPB C-51, IPB C-120, IPB C-142, IPB C-143, IPB C-160, Seloka, Anies, Bonita dan Jalapeno termasuk dalam kategori genotipe peka, genotipe Yuni termasuk dalam kategori genotipe agak toleran dan genotipe C18 termasuk dalam kategori toleran.

3.3 Pendahuluan

3.3.1 Latar Belakang

Kekeringan atau cekaman kekurangan air adalah salah satu faktor lingkungan yang cukup besar pengaruhnya dalam menurunkan produksi atau hasil pada budidaya tanaman di seluruh dunia. Menurut Bahadur *et al.*, (2011) daerah pertanian yang terkena dampak kekeringan dapat mengalami kerugian hasil hingga 50% atau lebih. Tanaman cabai, seperti pada umumnya tanaman sayur-sayuran terdiri lebih dari 90% air, dengan demikian cekaman kekurangan air, khususnya pada periode pertumbuhan kritis, secara drastis dapat mengurangi produktivitas dan kualitas hasil.

Cekaman kekurangan air menjadi masalah yang harus diperhatikan pada budidaya cabai dikarenakan pada umumnya penanaman cabai di lahan sawah dilakukan saat akhir musim hujan. Penanaman saat musim kemarau atau di lahan tegal menyebabkan ketersediaan air tidak selalu terjamin sepanjang musim tanam. Kekurangan air pada tanaman cabai akan mengakibatkan gangguan pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara keseluruhan dan menyebabkan penurunan mutu dan produksi.

Tanaman cabai termasuk tanaman yang tidak tahan terhadap kekeringan, tetapi juga tidak tahan terhadap genangan air. Jumlah kebutuhan air pertanaman selama pertumbuhan vegetatif 250 ml tiap 2 hari, dan meningkat menjadi 450 ml tiap 2 hari pada masa pembungaan dan pembuahan (Balitbang Pertanian 2008). Penanaman kultivar cabai yang toleran terhadap cekaman kekurangan air dapat terjadi jika tanaman dapat bertahan terhadap kondisi yang terjadi dan adanya toleransi atau mekanisme menghindar dari situasi cekaman tersebut.

Varietas unggul merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan produksi, sehingga perakitan varietas unggul diperlukan untuk meningkatkan produktivitas cabai (Syukur *et al.*, 2010). Sampai saat ini ketersediaan galur-galur atau varietas cabai merah komersil yang toleran kekurangan air dapat dikatakan masih belum ada. Galur-galur cabai besar dan varietas hibrida Hot Beauty, Wonder Hot, Miles flavor, Ever Flavor dan Hero pada umumnya lebih berhasil pada lahan-lahan subur dan beririgasi cukup (Kusumainderawati 2003). Karenanya dalam rangka meningkatkan produktivitas cabai merah di lahan kering, diperlukan perakitan varietas cabai yang toleran terhadap cekaman kekurangan air dan berdaya hasil tinggi.

Dalam rangka mengembangkan kultivar toleran pengairan terbatas, sangat penting untuk mengembangkan metode skrining yang efisien dan kriteria seleksi yang sesuai (Athar dan Ashraf, 2009). Pemuliaan untuk toleransi/ketahanan terhadap kekurangan air dengan cara menyeleksi karakter hasil pada tanaman cabai dianggap tidak mungkin bisa berhasil (Fernandaz 1992; Ehdaie 1993 *dalam* Showemimo *et al.*, 2007). Karenanya beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengidentifikasi karakter seleksi yang tepat untuk toleransi terhadap kekurangan air pada tanaman cabai.

Tantangan pemuliaan tanaman untuk toleransi kekurangan air adalah untuk menemukan cara yang dapat menjamin kemajuan seleksi yang baik (Bänzinger *et al.*, 2000). Berdasarkan konsep pemuliaan, untuk menunjang kemajuan seleksi, maka seorang pemulia harus memiliki:



1. Plasma nutfah dengan karakteristik yang menunjang toleransi terhadap kekurangan air yang bervariasi secara genotipe
2. Kemampuan menilai toleransi kekurangan air dengan tepat dalam kondisi yang relevan dengan lingkungan target.
3. Kemampuan menerapkan intensitas seleksi yang tinggi ketika melakukan seleksi untuk toleransi kekurangan air.

Pencapaian ini membutuhkan pemahaman yang menyeluruh tentang perilaku tanaman cabai di bawah kondisi cekaman kekurangan air, manajemen cekaman, karakter sekunder yang berguna yang berhubungan dengan produksi/hasil tanaman dibawah kondisi cekaman, serta pengembangan desain statistik.

3.3.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik lingkungan target untuk seleksi karakter toleransi tanaman cabai terhadap cekaman kekurangan air (pengairan terbatas), menentukan karakter seleksi serta mengidentifikasi genotipe-genotipe cabai yang toleran terhadap pengairan terbatas.

3.4 Metode Penelitian

3.4.1 Waktu dan Tempat

Percobaan uji toleransi tanaman cabai terhadap pengairan terbatas di dalam pot untuk memilih perlakuan interval penyiraman yang dapat dijadikan sebagai lingkungan seleksi dilakukan pada bulan Maret sampai Agustus 2016, percobaan pengujian toleransi beberapa genotipe cabai koleksi terhadap kekeringan di dalam pot dilakukan pada bulan Maret sampai Agustus 2017 di rumah kaca PKHT-IPB, Tajur, Bogor.

3.4.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah 23 genotipe cabai koleksi laboratorium Pendidikan Genetika dan Pemuliaan Tanaman IPB (Tabel 1). Alat yang digunakan adalah ember plastik, sensor kelembaban tanah, alat ukur kelembaban tanah berbasis *electrical impedansi* (sensor kelembaban relatif) (Bell 2011; Samouelian *et al.*, 2005) dan alat saprotan lainnya.

Tabel 1 Daftar genotipe cabai koleksi yang digunakan

No.	Nama Genotipe	Kode Persilangan	Keterangan	Asal
1	Cilibangi 3	IPB C-5	Cabai besar, toleran antraknosa, CVMV, phytophthora ras 1	Malaysia
2	Jatilaba	IPB C-7	Produksi tinggi, tahan layu bakteri	Panah Merah
3	ICPN 7#3	IPB C-8	rawit, tahan CMV, CVMV, PVY	AVRDC
4	PBC 495	IPB C-10	rawit, tahan CMV, tahan virus gemini	AVRDC
5	VC 211a	IPB C-12	tahan CVMV	AVRDC
6	Tit Super	IPB C-18	Cabai besar, produksi tinggi, tahan layu bakteri	Panah Merah
7	Randu	IPB C-19	Cabai besar, produksi tinggi, tahan layu bakteri	Lokal Jawa Timur
8	CA-MAZ	IPB C-20	Cabai hias, buah ungu, agak bulat	Indramayu
9	Tit segitiga	IPB C-37	Cabai besar, Produksi tinggi	lokal Majalengka
10	Laris	IPB C-51	Keriting	Panah Merah
11	Kopay	IPB C-120	Keriting (panjang 30 cm)	Payakumbuh IAC
12	Gelora	IPB C-142	Cabai besar	Mutiara Bumi
13	Tombak	IPB C-143	Cabai besar	BISI
14	Bara	IPB C-145	Cabai rawit	East West Seed Indonesia
15	Genie	IPB C-160	Rawit	PT. Benih Citra Asia (BCA), Jember
16	Seloka	Seloka	Cabai besar	IPB
17	SSP	SSP	keriting	IPB
18	Bonita	Bonita	Rawit	IPB
19	Anies	Anies	Cabai besar	IPB
20	Yuni	Yuni	keriting	IPB
21	Syakira	Syakira	Rawit	IPB
22	Jalapeno	Jalapeno	Cabai besar	Mexico
23	Gada MK F1	Gada MK	Cabai besar	Panah Merah

3.4.3 Metodologi

3.4.3.1 Penentuan Perlakuan Penyiraman untuk Seleksi Karakter Toleran Cekaman kekeringan pada tanaman cabai di dalam pot

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *split plot* dalam rancangan kelompok lengkap teracak dengan 3 ulangan dan masing-masing ulangan terdiri dari 5 tanaman dalam polybag berukuran 40 cm x 35 cm dengan media campuran tanah: pasir: pupuk kandang (2:2:1). Petak utama perlakuan penyiraman, mengacu pada percobaan Showemimo *et al.*, (2007), yang terdiri dari kontrol atau P1 (disiram setiap hari), P2 (disiram 3 hari sekali), P3 (disiram 5 hari sekali), P4 (disiram 7 hari sekali), P5 (disiram 14 hari sekali) dan P6 (disiram 21 hari sekali). Sedangkan anak petak terdiri atas 4 genotipe cabai yaitu G1 (Seloka), G2 (Tit Super), G3 (Gada) dan G4 (SSP). Berdasarkan informasi sebelumnya diketahui bahwa varietas Tit Super cukup baik di tanam di daerah dengan cekaman kekeringan sedang hingga berat (Sobir 1994), Gada F1 adalah varietas hibrida komersil yang toleran terhadap kekeringan (Panah merah), sedangkan Seloka dan SSP adalah varietas cabai merah bersari bebas yang beradaptasi di



dataran rendah sampai menengah, dan belum diketahui tingkat toleransi terhadap cekaman kekurangan air.

Model linier yang digunakan adalah:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{ik} + \beta_j + W_k + (\alpha\beta_{ij}) + \epsilon_{ijk}$$

Dimana:

- Y_{ijk} = Nilai pengamatan pada penyiraman taraf ke- i , genotipe taraf ke- j dan ulangan ke- k
- μ = rataan umum
- α_i = Pengaruh penyiraman ke- i ($i = 1, 2, 3, 4$, dst.)
- β_j = Pengaruh genotipe ke- j ($j = 1, 2, 3$, dst.)
- W_k = Pengaruh ulangan ke- k ($k = 1, 2, 3$, dst.)
- $(\alpha\beta_{ij})$ = Pengaruh interaksi antara penyiraman ke- i dan genotipe ke- j
- δ_{ik} = Pengaruh acak dari petak utama yang menyebar normal ($0, \sigma_{\delta}^2$)
- ϵ_{ijk} = Pengaruh acak dari anak petak yang menyebar normal ($0, \sigma_{\epsilon}^2$)

Berdasar hasil pengamatan dengan kondisi suhu dan kelembaban harian rata-rata 23.3°C dan 88.6% pada pagi hari, 38.3°C dan 36.9% pada siang hari serta 31.4°C dan 56.1% pada sore hari (Lampiran 1) kandungan kadar air media pada P1 adalah setara 71-92% KL, P2 setara 62-69% KL, P3 setara 56-71% KL, P4 setara 52 -58% KL, P5 setara 46-50% KL dan P6 setara 45% KL.

Analisis data dilakukan menggunakan uji F pada taraf 5%. Apabila terdapat pengaruh yang nyata, maka dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5%.

3.4.3.2 Pengujian Toleransi Beberapa Genotipe Cabai Koleksi terhadap Pengairan Terbatas Menggunakan Perlakuan Penyiraman Terpilih Hasil Percobaan Sebelumnya

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan kelompok lengkap teracak (RKLT) dua faktor dengan 3 ulangan. Faktor pertama adalah pengairan terbatas yang terdiri atas 2 taraf yaitu kontrol (tanpa cekaman) dan dengan cekaman (diterapkan perlakuan penyiraman terpilih hasil percobaan sebelumnya) dan faktor kedua adalah genotipe yang terdiri atas 23 taraf yaitu 23 genotipe cabai koleksi laboratorium genetika dan pemuliaan tanaman IPB. Masing-masing satuan percobaan terdiri dari 5 tanaman yang ditanam dalam ember plastik.

Penentuan toleransi terhadap pengairan terbatas mengacu pada indeks sensitivitas kekeringan (ISK) berdasarkan Fischer dan Maurer (1978) sebagai berikut:

$$ISK = (1 - Y/YP) / (1 - X/XP)$$

Keterangan:

ISK = indeks sensitivitas kekeringan

Y = nilai respon genotipe pada kondisi stres kekeringan

Y_p = nilai respon genotipe pada kondisi non stres kekeringan

X = nilai respon rata-rata dari genotipe pada kondisi stres kekeringan

X_p = nilai respon rata-rata dari genotipe pada kondisi non stres kekeringan

Setelah diperoleh nilai ISK dari tiap peubah pada 23 genotipe, selanjutnya peubah tersebut diklasifikasikan ke dalam empat kriteria atau kelas yaitu: $ISK \leq 0.5$ = sangat toleran, $0.5 < ISK \leq 0.75$ = toleran, $0.75 < ISK \leq 1.0$ agak toleran, $ISK > 1.0$ = peka (Kumar *et al.*, 2014).

Untuk mempermudah evaluasi lebih lanjut, jika didapat beberapa karakter atau peubah yang dapat membedakan respon genotipe terhadap kondisi cekaman, maka dilakukan skoring genotipe mengacu pada metode Misnen *et al.*, (2012) dengan cara memboboti dengan nilai 3 untuk kelas sangat toleran, nilai 2, untuk kelas toleran, nilai 1 untuk kelas agak toleran dan nilai 0 untuk kelas peka pada setiap peubah. Selanjutnya untuk menentukan genotipe yang toleran terhadap kekeringan diklasifikasi berdasarkan total skor. Genotipe yang memiliki skor $>$ jumlah total peubah dikategorikan toleran (mampu mempertahankan 51-100% pertumbuhan pada kondisi kekeringan), $<$ setengah jumlah peubah dikategorikan peka (hanya mampu mempertahankan 0-25% pertumbuhan pada kondisi kekeringan) dan nilai total skor di antara kategori toleran dan peka dikategorikan agak toleran (mampu mempertahankan 26-50% pertumbuhan pada kondisi kekeringan).

3.4.4 Pelaksanaan

3.4.4.1 Penentuan Perlakuan Penyiraman untuk Seleksi Karakter Toleran Cekaman Kekeringan pada Tanaman Cabai di dalam Pot

Percobaan diawali dengan kegiatan penyemaian. Benih disemai sebanyak 2 benih per lubang tray. Penyiraman dilakukan setiap hari pada pagi dan sore hari. Pemupukan dilakukan satu minggu sekali setelah bibit berumur 2 minggu setelah semai (MSS). Pupuk yang digunakan adalah pupuk NPK Mutiara dengan konsentrasi 10 g L^{-1} dan Gandasil 2 g L^{-1} . Penyemprotan pestisida dilakukan jika terlihat gejala serangan hama dan penyakit pada persemaian.

Media perlakuan yang akan digunakan merupakan campuran Tanah, pasir dan pupuk kandang dengan perbandingan 2:2:1 (v/v). Sebelum dicampur, masing-masing komponen media di saring dengan ayakan berdiameter lubang 0.5cm agar didapatkan butiran halus, seragam dan bebas dari kotoran, kemudian dikeringangkan. Media campuran kemudian dimasukkan dalam polibag berukuran 40 cm x 35 cm. Polibag yang telah diisi tanah kemudian dijenuhkan dengan air. Penanaman (transplanting) dilakukan setelah bibit cabai berumur 35 hari setelah semai (HSS) atau minimal sudah memiliki empat helai daun dewasa. Penanaman dilakukan pada sore hari dengan jumlah tanaman satu tanaman per polibag. Penyulaman bibit dilakukan jika ada tanaman cabai yang mati. Polibag disusun dalam barisan dengan jarak 50 cm x 50 cm dan jarak antar perlakuan 70 cm. Tata letak percobaan terlampir (Lampiran 1).

Kegiatan pemeliharaan tanaman terdiri atas penyiraman rutin dengan volume yang sama (berdasar hasil analisis kapasitas lapang dari media yang digunakan) sampai tanaman berumur 4 MST, pemupukan, pemberian pestisida, pewiwan tunas air, pembumbunan, dan penyirangan gulma. Penyiraman dilakukan pada pagi dan sore hari. Sebagai pupuk dasar pada media diberikan pupuk NPK 16-16-16 dengan dosis 10 g/tanaman. Selanjutnya setiap 2 minggu sekali diberikan pupuk NPK 16-16-16 dengan dosis 2.5 gr/ tanaman. Penyemprotan pestisida dilakukan satu minggu sekali dengan menggunakan



fungisida Dithane M-45 atau Antracol 2 g L⁻¹, insektisida Curacron 2 ml L⁻¹ dan akarisida Yosan 2 cc L⁻¹. Pengendalian gulma dan pewiwan tunas air dilakukan secara manual. Perlakuan penyiraman (simulasi kekeringan) diterapkan sesuai perlakuan sampai tanaman memasuki umur 4 MST, kemudian kadar air dijaga hingga akhir percobaan.

3.4.4.2 Pengujian Toleransi Beberapa Genotipe Cabai Koleksi terhadap Kekeringan Menggunakan Perlakuan Penyiraman Terpilih Hasil Percobaan Sebelumnya

Kegiatan penyemaian, pemeliharaan, media yang digunakan serta peubah yang diamati adalah sama dengan percobaan penentuan perlakuan penyiraman. Perlakuan penyiraman yang diterapkan adalah hasil percobaan sebelumnya yang menunjukkan keragaman peubah tertinggi atau yang menyebabkan penghambatan 50% pertumbuhan.

3.4.5 Pengamatan

3.4.5.1 Penentuan Perlakuan Penyiraman untuk Seleksi Karakter Toleran Cekaman Kekeringan pada Tanaman Cabai di dalam Pot Peubah yang diamati pada percobaan ini meliputi:

A. Pengamatan parameter vegetatif

a. Tinggi tanaman (cm)

Tinggi tanaman diamati setelah panen kedua. Tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah sampai pucuk tanaman tertinggi menggunakan meteran

b. Tinggi dikotomus (cm)

Tinggi dikotomus diamati setelah panen kedua. Tinggi dikotomus diukur dari permukaan tanah sampai percabangan pertama dengan menggunakan meteran

c. Diameter batang (mm)

Diameter batang diamati setelah panen kedua. Diameter batang diukur pada batang tanaman 10 cm dari permukaan tanah dengan menggunakan jangka sorong.

d. Jumlah cabang

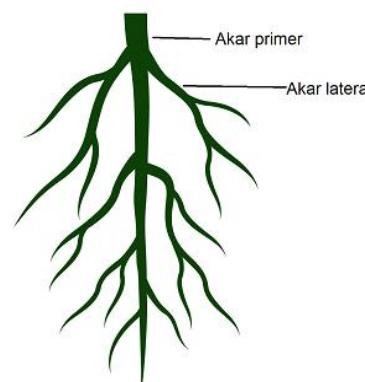
Jumlah cabang diamati pada saat panen.

e. Panjang akar (cm)

Panjang akar diamati diakhir masa percobaan. Panjang akar diukur dari pangkal akar sampai ujung terpanjang dari akar.

f. Jumlah akar lateral

Jumlah akar lateral diamati diakhir masa percobaan. Jumlah akar dihitung berdasarkan jumlah akar yang keluar dari akar utama (akar tunggang) (Gambar 2).



Gambar 2 Bagian akar tunggang

h. Bobot kering tajuk (g)

Bobot kering tajuk diamati di akhir masa percobaan. Tajuk dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60 °C sampai mencapai nilai konstan, kemudian diukur bobotnya.

h. Bobot kering akar (g)

Bobot kering akar diamati di akhir masa percobaan. Akar dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60 °C sampai mencapai nilai konstan, kemudian diukur bobotnya.

i. Rasio akar tajuk

Pengamatan dilakukan setelah panen dengan terlebih dahulu dilakukan pengamatan bobot kering tajuk dan bobot kering akar. Rasio akar dengan tajuk dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\text{Rasio akar tajuk} = \text{bobot kering akar}/\text{bobot kering tajuk}$$

B. Pengamatan parameter generatif

a. Jumlah buah per tanaman (g)

Jumlah buah dihitung dari awal panen sampai akhir panen selama 8 minggu.

b. Bobot buah per tanaman (g/tanaman)

Bobot buah ditimbang dengan timbangan digital dari awal panen sampai 8 minggu.

Perlakuan periode penyiraman yang menunjukkan perbedaan penampilan karakter pengamatan yang nyata di antara genotipe yang diuji atau yang dapat menghambat pertumbuhan hingga 50% (RC50) akan digunakan untuk percobaan berikutnya.

3.4.5.2 Pengujian Toleransi Beberapa Genotipe Cabai Koleksi terhadap Kekeringan Menggunakan Perlakuan **Penyiraman Terpilih pada Percobaan Sebelumnya**

Peubah yang diamati pada percobaan ini adalah sama dengan percobaan penentuan perlakuan penyiraman. Setelah didapat hasil pengamatan dari masing-masing peubah pada kondisi normal dan kekeringan, maka dicari nilai indeks sensitivitas kekeringan masing-masing peubah menggunakan rumus Fischer dan Maurer (1978) sebagai berikut:



$$ISK = (1-Y/YP)/(1-X/XP)$$

Keterangan:

ISK = indeks sensitivitas kekeringan

Y = nilai respon genotipe pada kondisi stres kekeringan

Yp = nilai respon genotipe pada kondisi non stres kekeringan

X = nilai respon rata-rata dari genotipe pada kondisi stres kekeringan

Xp = nilai respon rata-rata dari genotipe pada kondisi non stres kekeringan

Setelah diperoleh nilai ISK dari tiap peubah pada 23 genotipe, selanjutnya peubah tersebut diklasifikasikan ke dalam empat kriteria atau kelas yaitu: $ISK \leq 0.5$ = sangat toleran, $0.5 < ISK \leq 0.75$ = toleran, $0.75 < ISK \leq 1.0$ = agak toleran, $ISK > 1.0$ = peka (Kumar *et al.*, 2014).

3.5 Hasil dan Pembahasan

3.5.1 Penentuan Perlakuan Penyiraman untuk Seleksi Karakter Toleran Pengairan Terbatas pada Tanaman Cabai

3.5.1.1 Analisis Ragam

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan penyiraman berpengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman, tinggi dikotomus, diameter batang, jumlah daun, jumlah cabang, panjang akar, jumlah akar lateral, berat kering akar, berat kering tajuk, rasio akar tajuk, jumlah buah dan bobot buah per tanaman (Tabel 2). Pengaruh genotipe sangat nyata terhadap karakter tinggi tanaman, tinggi dikotomus, diameter batang, jumlah daun, bobot kering tajuk dan rasio akar tajuk. Analisis sidik ragam menunjukkan hampir tidak ada pengaruh interaksi antara perlakuan penyiraman dan genotipe terhadap peubah yang diamati, kecuali pada peubah rasio akar tajuk (Tabel 2).

Air dalam jumlah yang cukup sangat diperlukan pada tiap fase pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pada penelitian ini, semakin bertambah interval penyiraman, maka semakin berkurang pertumbuhan dan perkembangan tanaman, yang dapat dilihat dari perubahan morfologinya. Hampir semua peubah morfologi yang diamati mengalami penurunan nilai baik jumlah maupun ukuran dengan semakin bertambahnya interval penyiraman, kecuali peubah rasio akar tajuk (Tabel 3).

Pada penelitian ini, rasio akar tajuk mengalami penurunan ukuran sampai dengan perlakuan interval penyiraman 14 hari, tapi kemudian mengalami peningkatan ukuran pada cekaman kekeringan yang lebih tinggi (P21). Tanaman dengan volume akar yang besar akan mampu mengabsorbsi air lebih banyak sehingga mampu bertahan pada kondisi kekurangan air (Palupi dan Dedywiriyanto 2008). Tanaman yang mengembangkan sistem perakaran yang dalam dapat mengekstrak air di lapisan tanah yang lebih dalam (Passioura 2002)

Perbedaan respon di antara keempat genotipe yang diuji terlihat pada karakter tinggi tanaman, tinggi dikotomus, diameter batang, berat kering tajuk, dan rasio akar tajuk. Interaksi antara perlakuan penyiraman dan genotipe hampir tidak berpengaruh pada semua karakter yang diamati kecuali terhadap karakter rasio akar tajuk. Rasio akar tajuk yang tinggi adalah karakter adaptif cekaman kekeringan yang sangat penting (Kulkarni *et al.*, 2008). Pada tanaman padi

dengan rasio panjang akar dan tinggi tanaman yang lebih besar menunjukkan bahwa varietas tersebut memiliki sistem perakaran yang memungkinkan tanaman mampu menyerap air untuk memenuhi kebutuhannya pada saat kekurangan air (Suprihatno dan Suardi 2007).

@Tatak citra
dik IPB University

Tabel 2 Rekapitulasi sidik ragam pengaruh perlakuan penyiraman dan genotipe terhadap karakter morfologis dan hasil tanaman cabai (*Capsicum annuum* L.)

No	Peubah	Penyiraman (P)	Genotipe (G)	P x G	KK
A.	Karakter morfologis				
	Tinggi tanaman (cm)	**	**	tn	6.7
	Tinggi dikotomus (cm)	**	**	tn	15.8
	Diameter batang (mm)	**	**	tn	11.7
	Jumlah Daun	**	**	tn	10.8
	Jumlah cabang	**	tn	tn	6.9
	Panjang akar (cm)	**	tn	tn	13.4
	Jumlah akar lateral	**	tn	tn	13.7
	Bobot kering akar (g)	**	tn	tn	16.9
	Bobot kering tajuk (g)	**	**	tn	29.0
B.	Rasio akar tajuk	**	**	**	11.33
	Karakter hasil				
	Jumlah buah	**	tn	tn	13.9
	Bobot buah per tanaman (g)	**	tn	tn	20.4

Keterangan: **= sangat nyata * = nyata, tn = tidak nyata

Tabel 3 Rekapitulasi nilai tengah dan hasil uji DMRT pengaruh perlakuan penyiraman terhadap karakter morfologi cabai

No	Karakter	Interval Penyiraman					
		P1	P3	P5	P7	P14	P21
A.	Karakter morfologis						
	Tinggi tanaman (cm)	99.58 ^a	66.63 ^b	72.33 ^b	35.79 ^c	24.68 ^d	18.20 ^d
	Tinggi dikotomus (cm)	27.58 ^{ab}	28.03 ^a	26.13 ^{ab}	24.57 ^b	20.02 ^c	14.60 ^d
	Diameter batang (mm)	9.40 ^a	5.29 ^c	6.41 ^b	3.9 ^d	3.12 ^e	2.17 ^f
	Jumlah Daun	51.16 ^a	49.75 ^a	38.08 ^b	30.67 ^b	18.75 ^c	12.91 ^c
	Jumlah cabang	152.5 ^a	37.42 ^b	43.25 ^b	10.5 ^c	3.17 ^d	1.2 ^d
	Panjang akar (cm)	19.94 ^a	19 ^{ab}	16.43 ^b	18.57 ^{ab}	15.86 ^c	6.55 ^d
	Jumlah akar lateral	152.33 ^a	191.07 ^a	181 ^a	92.33 ^b	85.00 ^b	44.9 ^c
	Bobot kering akar (g)	4.50 ^a	2.39 ^b	2.42 ^b	0.75 ^c	0.29 ^d	0.13 ^e
	Bobot kering tajuk (g)	39.12 ^a	14.79 ^b	13.73 ^b	3.84 ^c	0.75 ^c	0.43 ^c
B.	Rasio akar tajuk	8.95 ^a	6.38 ^b	5.51 ^{bc}	4.54 ^{cd}	2.56 ^e	3.46 ^{de}
	Karakter hasil						
	Jumlah buah	31.25 ^a	6.17 ^b	9.67 ^b	1.17 ^c	0 ^c	0 ^c
	Bobot buah per tanaman (g)	151.1 ^a	23.06 ^{bc}	34.73 ^b	4.01 ^c	0 ^c	0 ^c

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf uji 5%



Tabel 4 Rekapitulasi nilai tengah dan hasil uji DMRT pengaruh genotipe terhadap karakter morfologi dan hasil cabai

No	Karakter	Genotipe			
		Gada MK	SSP	Seloka	C18
A.	Karakter morfologis				
	Tinggi tanaman (cm)	26.17 ^a	27.83 ^a	20.53 ^b	20.89 ^b
	Tinggi dikotomus (cm)	61.08 ^a	54.16 ^{ab}	51.39 ^b	50.27 ^b
	Diameter batang (mm)	5.74 ^a	4.81 ^b	5.08 ^b	4.97 ^b
	Jumlah cabang	48.72 ^a	34.82 ^a	45.72 ^a	40.12 ^a
	Panjang akar (cm)	16.18 ^a	16.97 ^a	15.96 ^a	16.16 ^a
	Jumlah akar lateral	138.44 ^a	114.19 ^a	133.72 ^a	121.12 ^a
	Bobot kering akar (g)	2.06 ^a	1.53 ^a	1.88 ^a	1.75 ^a
	Bobot kering tajuk (g)	17.05 ^a	9.79 ^b	13.647 ^{ab}	9.47 ^b
	Rasio akar tajuk	6.15 ^a	5.37 ^{ab}	5.02 ^{ab}	4.72 ^b
B.	Karakter hasil				
	Jumlah buah	7.67 ^{ab}	10.88 ^a	9.56 ^{ab}	5.59 ^b
	Bobot buah per tanaman (g)	38.08 ^{ab}	27.19 ^b	47.60 ^a	33.97 ^{ab}

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf uji 5%

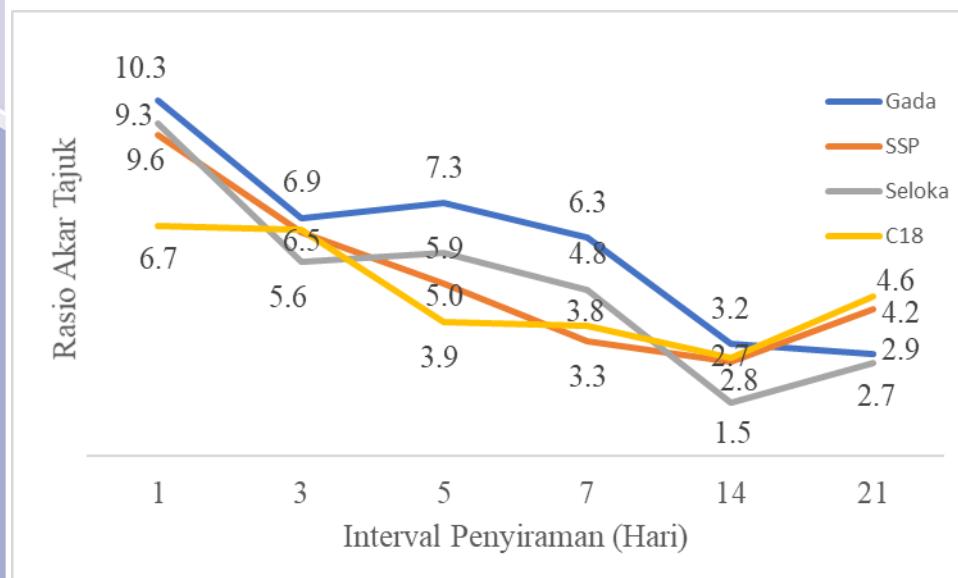
Berdasarkan pengamatan pada penelitian ini, terlihat bahwa genotipe Gada, sebagai kontrol toleran memiliki kemampuan yang paling baik dalam menjaga rasio akar tajuk dibandingkan genotipe yang lain (Tabel 4; Gambar 3). Meskipun terjadi penurunan rasio yang nyata, namun hingga perlakuan interval penyiraman 7 hari, genotipe Gada masih mampu mempertahankan rasio akar tajuknya di atas 50%.

Dalam kondisi kekurangan air, distribusi asimilat dalam tubuh tanaman yang diperoleh dari sumber sebagian besarnya akan didistribusikan ke akar, agar akar dapat tumbuh dan dapat memenuhi kebutuhan tanaman akan air (Kurniasih dan Wulandhany 2009). Tanaman yang memiliki rasio panjang akar dan tinggi tanaman yang lebih besar pada saat kekurangan air menunjukkan bahwa tanaman tersebut toleran (Nio dan Torey 2013).

Respon karakter hasil tanaman yang diamati adalah jumlah buah dan bobot buah per tanaman. Respon karakter hasil tanaman cabai sangat dipengaruhi oleh perlakuan penyiraman. Berdasarkan hasil uji lanjut DMRT pada taraf 5% diketahui bahwa penundaan penyiraman 3 hari (P3) langsung menunjukkan respon penurunan hasil yang nyata, baik pada karakter jumlah buah maupun bobot buah.

Berdasarkan pengamatan pada penelitian ini, kadar air media di bawah 50% KL (P14 dan P21) menyebabkan tanaman tidak menghasilkan buah. Penurunan hasil yang sangat nyata ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kekurangan air pada tanaman cabai dapat menyebabkan cekaman kekeringan dan penurunan hasil panen yang sangat nyata (Gençoğlan *et al.*, 2006; Demirtaş dan Ayas, 2009). Menurut Abdul-Ganiyu *et al.*, (2012) tanaman cabai membutuhkan banyak air dan peka terhadap praktek irigasi.

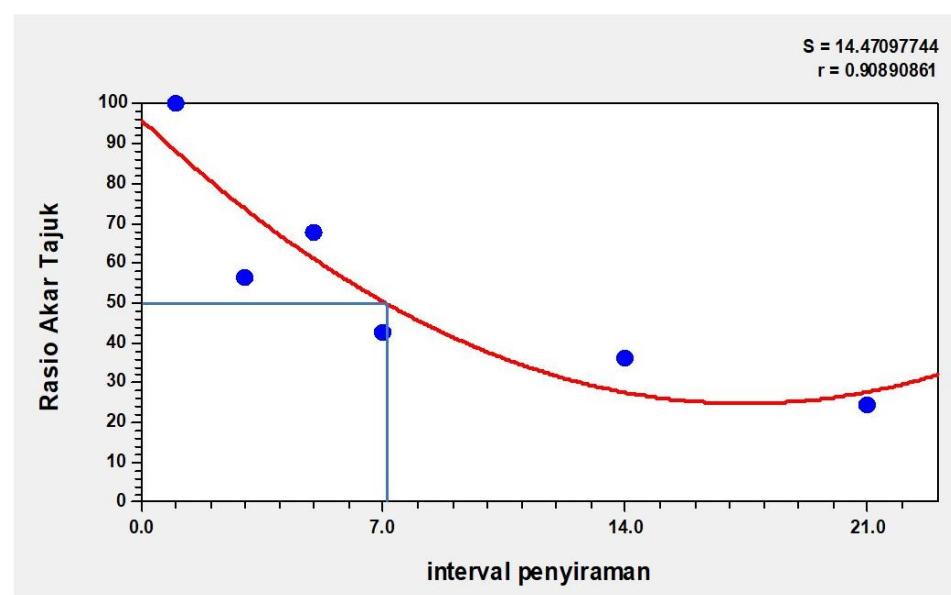
Pertumbuhan tanaman akan meningkat, apabila ketersediaan air tercukupi. Air yang cukup perlu untuk pembentukan buah dan periode pembesaran buah. A'rifah *et al.* (2015) menyatakan bahwa tingkat pengairan yang lebih tinggi dapat meningkatkan luas daun total, partisi bahan kering dan hasil pada tanaman cabai. Perbedaan genotipe cabai tidak berpengaruh nyata terhadap karakter jumlah buah maupun karakter bobot buah per tanaman pada percobaan ini.



Gambar 3 Respon empat genotipe cabai terhadap kondisi cekaman kekeringan pada rasio akar tajuk

3.5.1.2 Analisis Regresi untuk menentukan *Reduction Water Content* 50 (RWC50)

Penentuan interval penyiraman yang akan digunakan dalam seleksi mempertimbangkan juga hasil analisis penghambatan 50% pertumbuhan (RWC 50) dengan persamaan regresi hasil olah data menggunakan perangkat lunak *Curve Expert*. Berdasar hasil analisis, didapat persamaan regresi kuadratik $y = 95.9 - 8.2x + 0.23x^2$ sebagai persamaan regresi yang sesuai untuk rasio akar tajuk dengan nilai r sebesar 0.91. Berdasarkan persamaan ini diketahui bahwa RWC 50 dari karakter rasio akar tajuk diperoleh pada kisaran perlakuan interval penyiraman 7 hari (kandungan air media 52-58% KL).



Gambar 4 Grafik RC50 karakter rasio akar tajuk cabai



3.5.2 Pengujian Toleransi Beberapa Genotipe Cabai Koleksi terhadap Pengairan Terbatas Menggunakan Perlakuan Penyiraman Terpilih Hasil Percobaan Sebelumnya

3.5.2.1 Pengaruh Perlakuan terhadap Peubah yang diamati

Berdasarkan hasil percobaan sebelumnya didapatkan karakter rasio akar tajuk sebagai karakter yang dapat membedakan genotipe pada beberapa kondisi penyiraman yang berbeda. Dengan menggunakan informasi tersebut, maka dilakukan penghitungan indeks sensitivitas kekeringan (ISK) terhadap karakter rasio akar tajuk untuk mengidentifikasi tingkat toleransi 23 genotipe cabai pada dua kondisi penyiraman (disiram setiap hari dan interval penyiraman 7 hari).

Indeks sensitivitas kekeringan (ISK) adalah salah satu indeks yang dapat digunakan untuk menilai penurunan hasil karena lingkungan suboptimum dibandingkan dengan lingkungan optimal (Fisher dan Maurer, 1978). Nilai ISK yang rendah menunjukkan bahwa genotipe yang diuji pada kondisi sub-optimal tidak menunjukkan penurunan besar sehingga genotipe dapat dikatakan toleran. ISK diklasifikasikan dalam empat kriteria atau kelas mengacu kepada Kumar et al (2014) yaitu: $ISK \leq 0.5$ = sangat toleran, $0.5 < ISK \leq 0.75$ = toleran, $0.75 < ISK \leq 1.0$ = agak toleran, $ISK > 1.0$ = peka.

Berdasarkan hasil klasifikasi terhadap nilai ISK karakter rasio akar tajuk diketahui genotipe cabai IPB C-5, IPB C-7, IPB C-8, IPB C-12, IPB C-20, IPB C-37, IPB C-145, SSP, Gada MK F1, Yuni dan Syakira termasuk ke dalam kategori genotipe sangat toleran, sementara genotipe IPB C-10, IPB C-19, IPB C-51, IPB C-120, IPB C-142, IPB C-143, IPB C-160, Seloka, Anis, Bonita dan Jalapeno termasuk dalam kategori genotipe peka, genotipe Yuni termasuk genotipe agak toleran dan genotipe C18 termasuk dalam kategori toleran (Tabel 5).

3.6 Simpulan

Perlakuan interval penyiraman berpengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman, tinggi dikotomus, diameter batang, jumlah daun, jumlah cabang, panjang akar, jumlah akar lateral, berat kering akar, berat kering tajuk, rasio akar tajuk, jumlah buah dan bobot buah per tanaman. Perbedaan genotipe berpengaruh sangat nyata terhadap karakter tinggi dikotomus, tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, berat kering tajuk dan rasio akar tajuk.

Terdapat pengaruh interaksi antara perlakuan penyiraman dan genotipe terhadap peubah rasio akar tajuk. Perlakuan interval penyiraman 7 hari atau setara dengan 52-58% KL dapat diterapkan untuk menyeleksi genotipe cabai toleran pengairan terbatas. Indeks sensitivitas kekeringan (ISK) dapat digunakan dalam menyeleksi cabai toleran pengairan terbatas.

Terdapat keragaman tingkat toleransi terhadap pengairan terbatas dari 23 genotipe cabai koleksi yang diamati. Genotipe cabai IPB C-5, IPB C-7, IPB C-8, IPB C-12, IPB C-20, IPB C-37, IPB C-145, SSP, Gada MK F1 dan Syakira termasuk ke dalam kategori genotipe sangat toleran, sementara genotipe IPB C-10, IPB C-19, IPB C-51, IPB C-120, IPB C-142, IPB C-143, IPB C-160, Seloka, Anies, Bonita dan Jalapeno termasuk dalam kategori genotipe peka, genotipe Yuni termasuk agak genotipe toleran dan genotipe C18 termasuk dalam kategori toleran.

Tabel 5 Nilai indeks sensitivitas kekeringan 23 genotipe cabai berdasarkan karakter rasio akar tajuk

Genotipe	Indeks Sensitivitas kekeringan	Kategori
IPB C-5	-2.25	Sangat toleran
IPB C-7	-0.86	Sangat toleran
IPB C-8	-0.18	Sangat toleran
IPB C-10	2.21	Peka
IPB C-12	-0.50	Sangat toleran
IPB C-18	0.62	Toleran
IPB C-19	2.30	Peka
IPB C-20	-2.34	Sangat toleran
IPB C-37	-0.35	Sangat toleran
IPB C-51	1.37	Peka
IPB C-120	2.51	Peka
IPB C-142	2.51	Peka
IPB C-143	3.42	Peka
IPB C-145	-1.89	Sangat toleran
IPB C-160	2.84	Peka
Seloka	1.93	Peka
SSP	-0.43	Sangat toleran
Gada	-0.21	Sangat toleran
Anies	1.32	Peka
Yuni	0.82	Agak toleran
Syakira	-4.67	Sangat toleran
Bonita	1.26	Peka
Jalapeno	2.91	Peka



IV PENDUGAAN DINI TOLERANSI TANAMAN CABAI TERHADAP KEKURANGAN AIR DENGAN PEG 6000 PADA FASE KECAMBABAH

4.1 Abstract

Lack of water is one of the constraints on chili production. Evaluation of tolerance to lack of water in chili at the germination stage is an alternative way to conduct rapid screening in order to assemble less irrigation-tolerant varieties. 15% PEG concentration or equivalent to osmotic potential -4.1 Bar can be used to identify differences response among 22 chili genotypes to less irrigation stress at the germination stage. Shoot length, root length, root to shoot length ratio, seedling length, shoot dry weight, and percentage of germination can be used as character selection to estimate the less irrigation tolerance of chili genotypes in the germination stage. The evaluation results show that there is diversity in the tolerance level to less irrigation from the 22 genotypes of chili tested. IPB C7, IPB C120, and Jalapeno are very tolerant to less irrigation, while IPB C8, IPB C12, IPB C18, IPB C19, IPB C37, IPB C145 and SSP are tolerant and IPB C5, IPB C51, IPB C142, IPB C143, Gada, Syakira, Yuni, Bonita, and Anies are moderate tolerant and IPB C10, IPB C20 and Seloka genotypes are sensitive to drought based on the germination characters.

4.2 Abstrak

Kekeringan merupakan salah satu pembatas pada produksi cabai. Evaluasi toleransi kekurangan air pada tanaman cabai saat fase perkecambahan merupakan cara alternatif untuk melakukan penapisan secara cepat dalam rangka perakitan varietas toleran pengairan terbatas. Konsentrasi PEG 15 % atau setara dengan potensial osmotik -4.1 Bar dapat digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan respon di antara 22 genotipe cabai terhadap cekaman pengairan terbatas pada fase perkecambahan. Karakter panjang hipokotil, panjang akar, rasio panjang akar dan hipokotil, panjang kecambah, bobot kering hipokotil, dan persentase daya kecambah dapat digunakan sebagai karakter seleksi untuk menduga toleransi genotipe cabai terhadap kekurangan air pada fase perkecambahan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan tingkat toleransi terhadap pengairan terbatas dari 22 genotipe cabai yang diuji. Genotipe cabai IPB C7, IPB C120, dan Jalapeno adalah genotipe yang sangat toleran terhadap kekurangan air, genotipe IPB C8, IPB C12, IPB C18, IPB C19, IPB C37, IPB C145 dan SSP termasuk genotipe toleran, sedangkan genotipe IPB C5, IPB C51, IPB C142, IPB C143, Gada, Syakira, Yuni, Bonita, dan Anies termasuk genotipe moderat toleran dan genotipe IPB C10, IPB C20 dan Seloka termasuk genotipe peka terhadap kekurangan air berdasarkan karakter perkecambahan.

4.3 Pendahuluan

4.3.1 Latar Belakang

Kekeringan atau cekaman kekurangan air adalah salah satu faktor lingkungan yang cukup besar pengaruhnya dalam menurunkan produksi atau hasil pada budidaya tanaman di seluruh dunia. Menurut Bahadur *et al.* (2011) daerah pertanian yang terkena dampak kekeringan dapat mengalami kerugian hasil hingga 50% atau lebih. Tanaman cabai, seperti pada umumnya tanaman sayur-sayuran terdiri lebih dari 90% air, dengan demikian cekaman kekeringan, khususnya pada periode pertumbuhan kritis, secara drastis dapat mengurangi produktivitas dan kualitas hasil.

Cekaman kekeringan menjadi masalah yang harus diperhatikan pada budidaya cabai dikarenakan pada umumnya penanaman cabai di lahan sawah dilakukan saat akhir musim hujan. Penanaman saat musim kemarau atau di lahan tegal menyebabkan ketersediaan air tidak selalu terjamin sepanjang musim tanam. Kekurangan air pada tanaman cabai akan mengakibatkan gangguan pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara keseluruhan dan menyebabkan penurunan mutu dan produksi.

Tanaman cabai termasuk tanaman yang tidak tahan terhadap kekeringan, tetapi juga tidak tahan terhadap genangan air. Jumlah kebutuhan air pertanaman selama pertumbuhan vegetatif 250 ml tiap 2 hari, dan meningkat menjadi 450 ml tiap 2 hari pada masa pembungaan dan pembuahan (Balitbang Pertanian 2008). Penanaman kultivar cabai yang toleran terhadap cekaman kekurangan air dapat terjadi jika tanaman dapat bertahan terhadap kondisi yang terjadi dan adanya toleransi atau mekanisme menghindar dari situasi cekaman tersebut.

Varietas unggul merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan produksi, sehingga perakitan varietas unggul diperlukan untuk meningkatkan produktivitas cabai (Syukur *et al.*, 2010). Sampai saat ini ketersediaan galur-galur atau varietas cabai merah komersil yang toleran kekurangan air dapat dikatakan masih belum ada. Galur-galur cabai besar dan varietas hibrida Hot Beauty, Wonder Hot, Miles flavor, Ever Flavor dan Hero pada umumnya lebih berhasil pada lahan-lahan subur dan beririgasi cukup (Kusumainderawati 2003). Karenanya dalam rangka meningkatkan produktivitas cabai merah di lahan kering, diperlukan perakitan varietas cabai yang toleran terhadap cekaman kekurangan air dan berdaya hasil tinggi.

Dalam rangka mengembangkan kultivar toleran pengairan terbatas, sangat penting untuk mengembangkan metode skrining yang efisien dan kriteria seleksi yang sesuai (Athar dan Ashraf, 2009). Pemuliaan untuk toleransi/ketahanan terhadap kekurangan air dengan cara menyeleksi karakter hasil pada tanaman cabai dianggap tidak mungkin bisa berhasil (Fernandaz 1992; Ehdaie 1993 dalam Showemimo *et al.*, 2007). Karenanya beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengidentifikasi karakter seleksi yang tepat untuk toleransi terhadap kekurangan air pada tanaman cabai.

Tantangan pemuliaan tanaman untuk toleransi kekurangan air adalah untuk menemukan cara yang dapat menjamin kemajuan seleksi yang baik (Bänzinger *et al.* 2000). Berdasarkan konsep pemuliaan, untuk menunjang kemajuan seleksi, maka seorang pemulia harus memiliki:



1. Plasma nutfah dengan karakteristik yang menunjang toleransi terhadap kekurangan air yang bervariasi secara genotipe
2. Kemampuan menilai toleransi kekurangan air dengan tepat dalam kondisi yang relevan dengan lingkungan target.
3. Kemampuan menerapkan intensitas seleksi yang tinggi ketika melakukan seleksi untuk toleransi kekurangan air.

Pencapaian ini membutuhkan pemahaman yang menyeluruh tentang perilaku tanaman cabai di bawah kondisi cekaman kekurangan air, manajemen cekaman, karakter sekunder yang berguna yang berhubungan dengan produksi/hasil tanaman dibawah kondisi cekaman, serta pengembangan desain statistik

Menurut Chazen dan Neumann (1994), sebagai agen penyeleksi, PEG 6000 dilaporkan lebih unggul dibandingkan manitol, sorbitol, atau garam karena tidak bersifat toksik terhadap tanaman, tidak dapat diserap oleh sel akar dan secara homogen menurunkan potensial osmotik larutan. Penggunaan larutan PEG 6000 dengan konsentrasi 5-25% diharapkan dapat menciptakan potensial osmotik yang setara dengan kondisi tanah kapasitas lapang dan titik kelembaban kritis.

Alternatif penapisan toleransi genotipe cabai pada fase perkecambahan dapat dilakukan di laboratorium atau rumah kaca untuk melihat respon genotipe tersebut pada kondisi cekaman kekeringan. Mariska dan Lestari (2006) menyatakan bahwa terdapat korelasi antara kemampuan berkecambahan pada media dengan PEG dengan sifat toleran pada kondisi cekaman kekurangan air pada padi. Penggunaan PEG 6000 dengan konsentrasi 25% (w/ v) pada saat kecambahan muncul radikula dapat mendeteksi secara dini genotipe padi hibrida toleran kekeringan (Afa *et al.*, 2013).

Dubrovsky dan Go'mez-lomeli (2003) menyatakan bahwa beberapa strategi dilakukan tanaman toleran untuk menghadapi cekaman kekurangan air dimulai pada saat fase perkecambahan dan pertumbuhan vegetatif dengan membentuk formasi akar yang dalam dan percabangan akar yang banyak.

Rumbough dan Johnson (1981) dalam Efendi (2009) menyatakan bahwa seleksi genotipe toleran kekurangan air pada fase perkecambahan merupakan upaya untuk mengatasi biaya yang mahal, lamanya waktu yang dibutuhkan, dan jumlah genotipe yang banyak untuk diuji di lapang. Kondisi cekaman kekurangan air dengan menggunakan larutan PEG sebagai metode seleksi dapat dilakukan jika mampu mengelompokkan genotipe yang toleran dan peka.

Efendi (2009) melakukan pengelompokan tanaman jagung kedalam kelompok toleran, medium toleran dan peka kekeringan berdasarkan hasil pengamatannya terhadap kecambahan jagung yang ditumbuhkan pada larutan PEG 5% dan 10% dengan menggunakan perhitungan indeks sensitivitas cekaman kekeringan (ISK) berdasarkan nilai penampilan parameter perkecambahan.

PEG telah banyak digunakan dalam pengujian toleransi tanaman pada fase kecambahan terhadap cekaman kekurangan air dengan memperhitungkan indeks sensitivitas kekeringan, namun hasil seleksinya masih belum konsisten dengan hasil di lapangan. Berdasarkan hal tersebut maka sebaiknya penggunaan PEG 6000 sebagai agen penyeleksi perlu dibarengi dengan metode seleksi lain untuk mendapatkan konsistensi dengan hasil di lapangan. Samaullah dan Darajat (2001) menyatakan bahwa seleksi dengan menggunakan media tanah di pot akan memberikan tekanan seleksi yang hampir mendekati keadaan kekeringan di

lapangan. Media tanam yang digunakan dapat diambil dari lingkungan daerah target produksi dan memiliki hampir semua cekaman yang dijumpai di lapangan misalnya aspek jenis dan tekstur tanah.

4.3.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik lingkungan target untuk seleksi karakter toleransi tanaman cabai terhadap cekaman kekurangan air, menentukan karakter seleksi serta mengidentifikasi genotipe-genotipe cabai yang toleran terhadap cekaman kekurangan air.

4.4 Metode Penelitian

4.4.1 Waktu dan Tempat

Percobaan pendugaan dini toleransi tanaman cabai terhadap kekeringan dengan PEG 6000 pada fase kecambah dilaksanakan pada bulan Juni-Juli 2014, di Laboratorium Ilmu dan Teknologi Benih, Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB.

4.4.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah 22 genotipe cabai koleksi laboratorium Pendidikan Genetika dan Pemuliaan Tanaman IPB (Tabel 1) dan PEG 6000. Alat yang digunakan adalah cawan petri, kertas stensil, germinator.

4.4.3 Metodologi

4.4.3.1 Penentuan Konsentrasi Larutan PEG 6000 yang Memberikan Cekaman kekurangan air pada Tanaman Cabai

Percobaan disusun berdasarkan rancangan kelompok lengkap teracak dengan dua faktor yaitu konsentrasi PEG dan varietas cabai. Konsentrasi larutan PEG 6000 (w/v) yang terdiri atas: 0% (tanpa PEG 6000), 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% yang berturut-turut setara dengan 0.00, -0.03, -0.19, -0.41, -0.67 dan -0.99 MPa (Mexal *et al.*, 1975), sedangkan 1 MPa setara dengan 10 bar.

Penentuan tekanan osmotik Polyethylene glycol 6000 diperoleh dari rumus Michel dan Kaufman (1973):

$$\psi_s = -(1.18 \times 10^{-2}) C - (1.18 \times 10^{-4}) C^2 + (2.67 \times 10^{-4}) CT + (8.39 \times 10^{-7}) C^2 T$$

Keterangan:

ψ_s = tekanan osmotik larutan (bar)

C = konsentrasi PEG 6000 dalam g PEG/kg H₂O

T = suhu ruangan dalam °C

Faktor kedua adalah varietas cabai yang terdiri atas varietas Seloka, SSP dan Tit Super. Berdasarkan informasi sebelumnya diketahui bahwa varietas Tit Super cukup baik di tanam di daerah dengan cekaman kekeringan sedang hingga berat (Sobir 1994). Percobaan terdiri atas tiga ulangan, masing-masing satuan percobaan terdiri atas 1 cawan petri yang berisi 10 benih tanaman.

Data hasil pengamatan dianalisis dengan sidik ragam uji F. Jika sidik ragam menunjukkan pengaruh nyata pada taraf 5% dilanjutkan dengan uji *Duncan*



Multiple Range Test (DMRT) menggunakan fasilitas uji SAS 9.1. Konsentrasi PEG yang dapat menghambat perkecambahan benih sampai 50% (RC 50) dan atau yang menunjukkan perbedaan penampilan karakter pengamatan yang nyata di antara genotipe yang diuji akan digunakan sebagai perlakuan pada percobaan berikutnya.

4.4.3.2 Pengujian Toleransi Beberapa Genotipe Cabai Koleksi terhadap Kekurangan air Menggunakan Larutan PEG 6000 dengan Konsentrasi Terpilih Hasil Percobaan Sebelumnya

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan kelompok lengkap teracak (RKLT) dua faktor dengan 3 ulangan. Faktor pertama adalah cekaman kekeringan yang terdiri atas 2 taraf yaitu kontrol (tanpa pemberian larutan PEG 6000) dan konsentrasi larutan PEG 6000 yang memberikan perbedaan penampilan karakter pengamatan yang nyata di antara genotipe yang diuji (hasil percobaan tahap 1) dan faktor kedua adalah varietas/genotipe yang terdiri atas 22 taraf yaitu 22 genotipe cabai koleksi Laboratorium genetika dan pemuliaan tanaman IPB (Tabel 1). Masing-masing satuan percobaan terdiri dari satu cawan petri yang berisi 10 benih tanaman.

Data hasil pengamatan dianalisis dengan sidik ragam uji F. Jika sidik ragam menunjukkan pengaruh nyata pada taraf 5% dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) menggunakan fasilitas uji SAS 9.1.

4.4.4 Pelaksanaan

4.4.4.1 Penentuan Konsentrasi Larutan PEG 6000 yang Memberikan Cekaman Kekurangan Air pada Tanaman Cabai

Sebanyak 10 benih tiap genotipe dikecambahkan sampai muncul radikel (± 1 mm), kemudian kecambah ditempatkan dalam cawan petri yang berisi 3 lapis kertas buram jenuh larutan PEG 6000 sesuai dengan perlakuan. Kontrol sebagai pembanding, hanya dijenuhkan dengan aquadest sebagai media perkecambahan optimal. Perlakuan diberikan selama 14 hari. Cawan petri yang telah berisi kecambah diinkubasi di dalam suhu ruang (27-30 °C).

4.4.4.2 Pengujian Toleransi Beberapa Genotipe Cabai Koleksi terhadap Kekurangan Air Menggunakan Larutan PEG 6000 dengan Konsentrasi Terpilih Hasil Percobaan Sebelumnya

Sebanyak 10 benih tiap varietas dikecambahkan dalam cawan petri yang berisi 3 lapis kertas buram jenuh larutan PEG 6000 sesuai dengan perlakuan. Kontrol sebagai pembanding, hanya dijenuhkan dengan aquadest sebagai media perkecambahan optimal. Perlakuan diberikan selama 14 hari.

Data hasil pengamatan dianalisis dengan sidik ragam uji F sesuai rancangan percobaan yang digunakan. Jika sidik ragam menunjukkan pengaruh nyata pada taraf 5% dilanjutkan dengan uji DMRT menggunakan fasilitas uji SAS 9.1. Analisis komponen utama dan korelasi digunakan untuk menentukan peubah yang berkontribusi besar terhadap keragaman dan peubah yang saling berhubungan. Analisis kelompok digunakan untuk mengelompokkan genotipe cabai toleran terhadap cekaman kekeringan.

4.4.5 Pengamatan

4.4.5.1 Penentuan Konsentrasi PEG 6000 untuk Seleksi Karakter Toleran Cekaman Kekurangan Air pada Tanaman Cabai

Peubah yang diamati adalah indeks vigor (dihitung kecambah yang tumbuh normal kuat dan serempak), panjang akar, jumlah akar lateral, panjang hipokotil dan bobot kering kecambah 14 hari setelah perlakuan (HSP). Berdasarkan data tersebut, akan dihitung *reduction concentration 50* (RC50) yaitu konsentrasi PEG yang dapat menyebabkan hambatan pertumbuhan hingga 50%. RC50 dihitung dengan persamaan regresi.

Konsentrasi PEG yang dapat menghambat perkecambahan benih sampai 50% dan atau yang menunjukkan perbedaan penampilan karakter pengamatan yang nyata di antara genotipe yang diuji akan digunakan untuk percobaan berikutnya.

4.4.5.2 Pengujian Toleransi Beberapa Genotipe Cabai Koleksi terhadap Kekurangan Air Menggunakan Perlakuan Konsentrasi PEG Terpilih Hasil Percobaan Sebelumnya

Pengamatan dilakukan pada 14 HSP dan peubah yang diamati adalah indeks vigor (dihitung kecambah yang tumbuh normal kuat dan serempak), panjang akar, jumlah akar lateral, panjang hipokotil, bobot kering kecambah dan indeks sensitivitas kekeringan setiap peubah. Indeks sensitivitas kekeringan setiap peubah ditentukan menggunakan rumus Fischer dan Maurer (1978) sebagai berikut:

$$ISK = (1-Y/YP)/(1-X/XP)$$

Keterangan:

ISK = indeks sensitivitas kekeringan

Y = nilai respon genotipe pada kondisi cekaman pengairan terbatas

Yp = nilai respon genotipe pada kondisi normal (kontrol)

X = nilai respon rata-rata dari genotipe pada kondisi pengairan terbatas

Xp = nilai respon rata-rata dari genotipe pada kondisi normal (kontrol)

Setelah diperoleh nilai ISK dari tiap peubah pada 22 genotipe, selanjutnya peubah tersebut diklasifikasikan ke dalam tiga kriteria atau kelas yaitu: $ISK \leq 0.5$ = toleran, $0.5 < ISK \leq 1.0$ = agak toleran, $ISK > 1.0$ = peka. Untuk mempermudah evaluasi lebih lanjut dilakukan skoring genotipe mengacu pada metode Misnen, dkk (2012) dengan cara memboboti dengan nilai 2 untuk kelas toleran, nilai 1, untuk kelas agak toleran, dan nilai 0 untuk kelas peka pada setiap peubah.

Selanjutnya untuk menentukan genotipe yang toleran terhadap kekeringan diklasifikasi berdasarkan total skor. Genotipe yang memiliki skor $>$ Jumlah total peubah dikategorikan toleran (mampu mempertahankan 51-100% pertumbuhan pada kondisi kekeringan), $<$ setengah jumlah peubah dikategorikan peka (hanya mampu mempertahankan 0-25% pertumbuhan pada kondisi kekeringan) dan nilai total skor di antara kategori toleran dan peka dikategorikan moderat atau agak toleran (mampu mempertahankan 26-50% pertumbuhan pada kondisi kekeringan).



4.5 Hasil dan Pembahasan

4.5.1 Penentuan Konsentrasi Larutan PEG 6000 yang Memberikan Cekaman Kekeringan pada Tanaman Cabai

4.5.1.1 Analisis Ragam

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan berbagai konsentrasi larutan PEG 6000 yang diberikan pada media perkecambahan tanaman cabai berpengaruh nyata terhadap indeks vigor, jumlah akar lateral, panjang hipokotil, panjang akar dan berat kering kecambah (Tabel 6).

Tabel 6 Kuadrat tengah karakter perkecambahan 3 genotipe cabai yang diuji

Karakter	Kuadrat Tengah		
	G	PEG	G*PEG
Indeks vigor	3969.17 ^{**}	8019.09 ^{**}	569.83 ^{**}
Jumlah akar lateral	0.48 ^{**}	1.08 ^{**}	0.14 ^{**}
Panjang akar	2.85 ^{**}	36.51 ^{**}	1.04 ^{**}
Panjang hipokotil	0.93 ^{**}	7.26 ^{**}	0.21 ^{**}
Bobot kering kecambah total	0.000019	0.000118 ^{**}	0.000006

Keterangan: * nyata pada taraf $\alpha=0.05$, ** sangat nyata

Pemberian larutan PEG 6000 pada konsentrasi 15% secara nyata dapat menurunkan jumlah akar lateral dan panjang hipokotil, sedangkan konsentrasi 20% dapat menurunkan indeks vigor, panjang akar dan bobot kering kecambah total yang berbeda nyata dibanding dengan konsentrasi larutan PEG 6000 yang lebih rendah (0%, 5%, dan 10%) (Tabel 7).

Pengaruh genotipe tampak pada karakter indeks vigor, jumlah akar lateral, panjang akar dan panjang hipokotil. Genotipe SSP memiliki nilai indeks vigor dan jumlah akar lateral tertinggi. Panjang akar tertinggi dimiliki oleh genotipe C18 sedangkan Panjang hipokotil tertinggi dimiliki oleh Seloka, namun tidak berbeda nyata dengan SSP (Tabel 8).

Terdapat interaksi antara konsentrasi larutan PEG yang diberikan dengan genotipe yang digunakan pada parameter indeks vigor, jumlah akar lateral, panjang akar dan panjang hipokotil. Keragaman respons dari ketiga genotipe cabai yang diuji (C18, Seloka dan SSP) pada parameter indeks vigor, jumlah akar lateral, panjang akar dan panjang hipokotil tersebut terjadi pada kisaran konsentrasi 15% (Gambar 5).

Tabel 7 Rekapitulasi nilai tengah dan hasil uji DMRT pengaruh perlakuan konsentrasi PEG terhadap karakter kecambah cabai

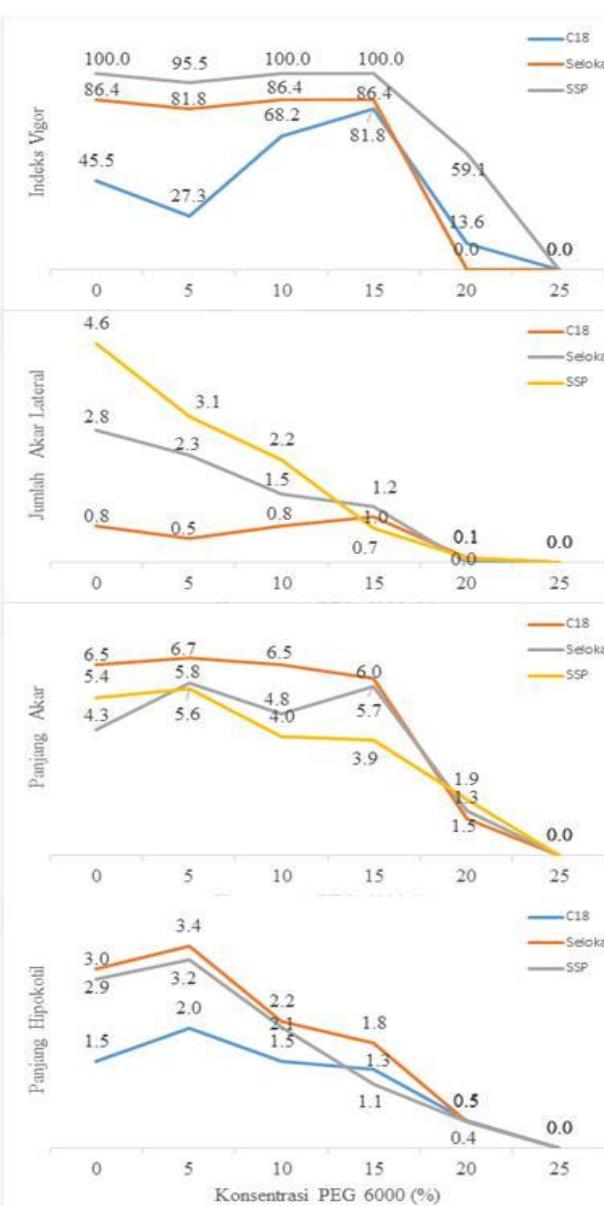
No	Karakter	PEG (%)					
		0	5	10	15	20	25
1. Indeks vigor	77.27 ^{ab}	68.18 ^b	84.85 ^a	89.39 ^a	24.24 ^c	0.00 ^d	
2. Jumlah akar lateral	2.80 ^a	1.96 ^b	1.47 ^b	0.97 ^c	0.04 ^d	0.00 ^d	
3. Panjang akar	5.29 ^b	6.05 ^a	5.10 ^b	5.22 ^b	1.57 ^c	0.00 ^d	
4. Panjang hipokotil	2.59 ^a	2.88 ^a	1.89 ^b	1.40 ^c	0.46 ^d	0.00 ^e	
5. Bobot kering kecambah total	0.0128 ^a	0.0168 ^a	0.0147 ^a	0.0148 ^a	0.0037 ^b	0.0028 ^b	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf uji 5%

Tabel 8 Rekapitulasi nilai tengah dan hasil uji DMRT pengaruh genotipe terhadap karakter perkecambahan cabai

No	Karakter	Genotipe		
		C18	Seloka	SSP
1.	Indeks vigor	39.39 ^c	56.82 ^b	75.76 ^a
2.	Jumlah akar lateral	0.5464 ^b	1.2884 ^a	1.7825 ^a
3.	Panjang akar	4.4382 ^a	3.6957 ^b	3.4780 ^b
4.	Panjang hipokotil	1.1948 ^b	1.8051 ^a	1.6088 ^a
5.	Bobot kering kecambah total	0.0115	0.0109	0.0104

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf uji 5%



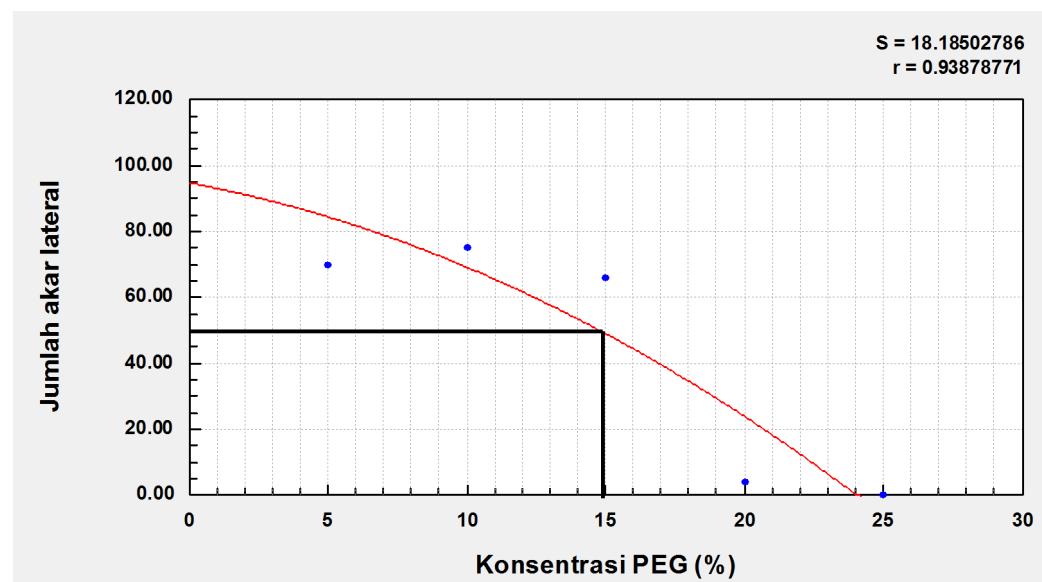
Gambar 5 Respon tiga genotipe cabai terhadap kondisi cekaman PEG 6000 pada karakter indeks vigor, jumlah akar lateral, panjang akar, dan panjang hipokotil

4.5.1.2 Analisis Regresi untuk menentukan Reduction concentration 50 (RC50)

Penentuan konsentrasi PEG yang akan digunakan dalam seleksi mempertimbangkan juga hasil analisis konsentrasi penghambatan pertumbuhan 50% (RC 50) dengan persamaan regresi hasil olah data menggunakan perangkat lunak *Curve Expert*.

Analisis regresi setiap parameter yang diamati dengan bantuan perangkat lunak *Curvit Expert* menunjukkan grafik yang mulai menurun pada pemberian larutan PEG dengan konsentrasi 15%, kecuali untuk parameter jumlah akar lateral yang nampak mulai menurun sejak pemberian larutan PEG dengan konsentrasi 5%. Dengan menggunakan persamaan regresi yang sesuai dari hasil *Curve Expert* untuk peubah jumlah akar lateral dan panjang akar dan panjang hipokotil dapat diketahui bahwa RC50 diperoleh pada kisaran konsentrasi PEG 15%. Meski RC 50 untuk peubah bobot kering kecambah total jatuh pada kisaran konsentrasi PEG lebih dari 20%, namun berdasar pertimbangan bahwa pada konsentrasi lebih tinggi dari 15% respon kecambah tidak lagi mampu membedakan keragaman di antara genotipe.

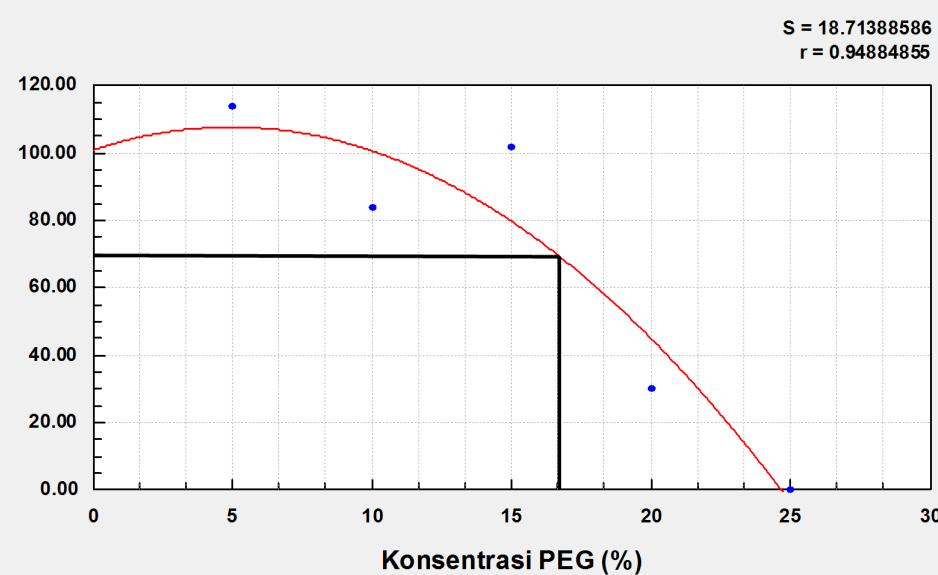
Berdasarkan hasil analisis regresi dan analisis ragam, dapat ditentukan bahwa pemberian PEG dengan konsentrasi 15% dapat digunakan sebagai konsentrasi seleksi toleransi tanaman cabai terhadap kekeringan, karena penambahan larutan PEG dengan konsentrasi 15% dapat memperlihatkan adanya perbedaan respons dari ketiga genotipe yang digunakan serta pada konsentrasi tersebut dapat menurunkan penampilan parameter yang diamati.



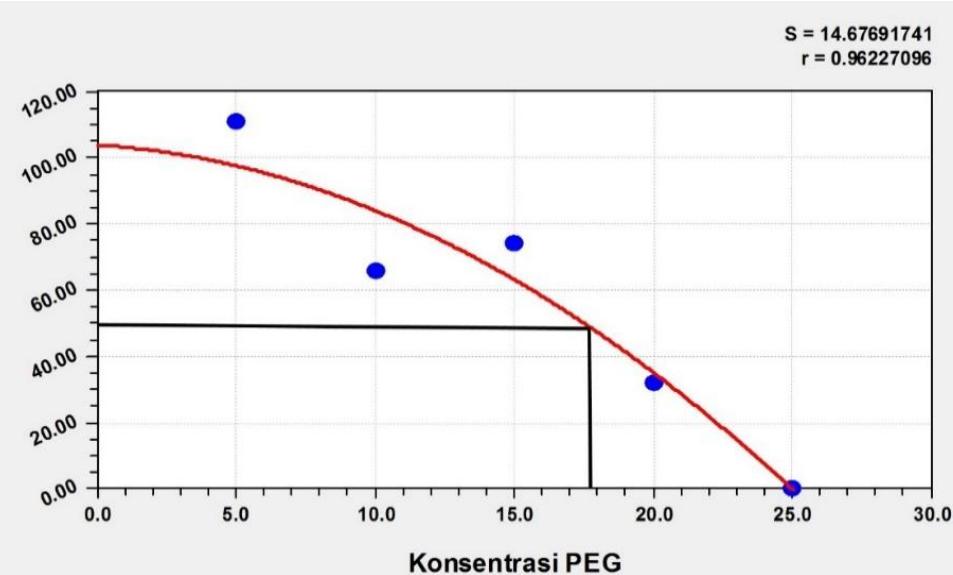
Gambar 6 Grafik RC50 karakter jumlah akar lateral kecambah cabai

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 7 Grafik RC50 karakter panjang akar kecambah cabai



Gambar 8 Grafik RC50 karakter panjang hipokotil cabai

4.5.2 Pengujian Toleransi Beberapa Genotipe Cabai Koleksi terhadap Cekaman Kekurangan Air Menggunakan Larutan PEG 6000 dengan Konsentrasi 15%

4.5.2.1 Analisis Ragam dan Komponen Ragam

Analisis ragam (ANOVA) mengungkapkan rata-rata yang sangat signifikan untuk semua karakter perkecambahan cabai kecuali berat kering akar di antara genotipe yang tumbuh di bawah kondisi laboratorium (Tabel 9). ANOVA menjelaskan bahwa faktor genetik dari genotip mempengaruhi hampir semua



karakter yang diamati. Koefisien variasi (C.V) dari semua karakter adalah kurang dari 20%, ini menunjukkan ketepatan dalam data yang diambil (Ritonga *et al.*, 2018).

Lingkungan pertumbuhan yang disimulasikan dengan penerapan 0 dan 15% PEG 6000 menunjukkan efek signifikan pada hampir semua karakter yang diamati, kecuali untuk karakteristik berat kering akar, dan jumlah akar lateral (Tabel 9). Efek signifikan dari PEG menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi PEG 6000 memberikan respon yang berbeda. Penggunaan larutan PEG 6000 dalam media perkecambahan menyebabkan penurunan potensi air secara homogen sehingga dapat digunakan untuk meniru potensi air tanah (Michael dan Kauffman 1973). Penggunaan media dengan 15% PEG 6000 dalam penelitian ini memiliki efek cekaman kekeringan pada kecambah. Berbagai penelitian melaporkan bahwa penggunaan PEG 6000 dapat membedakan antara genotipe toleran dan kekeringan (Nath *et al.*, 2005; Afa *et al.*, 2012; Halimursyadah *et al.*, 2013; Widystuti *et al.*, 2016; Channaoui *et al.*, 2017).

Terdapat interaksi yang signifikan hingga sangat signifikan antara genotipe dan lingkungan tumbuh (G x P) pada daya berkecambah, panjang hipokotil, panjang akar, rasio panjang akar-hipokotil, panjang kecambah, berat kering hipokotil, dan jumlah akar lateral (Tabel 9). Interaksi G x E sangat penting dalam proses perakitan genotipe yang toleran terhadap kondisi cekaman. Tanaman yang memiliki kemampuan adaptasi yang baik (toleran) akan dapat tumbuh dan berproduksi di lingkungan yang ekstrem atau kekeringan meskipun produksinya menurun (Sikuku *et al.*, 2010). Karakter yang memiliki interaksi G x E yang nyata dapat digunakan sebagai dasar seleksi (Akbar *et al.*, 2018). Interaksi yang nyata mengindikasikan bahwa karakter tersebut dapat merespons secara berbeda terhadap kondisi lingkungan yang berbeda (Eeuwijk *et al.*, 2016). Mekanisme adaptasi antara genotipe terhadap cekaman kekeringan menampilkan respons karakter yang berbeda di lingkungan yang berbeda. Karakter yang dapat menunjukkan perbedaan di setiap lingkungan antara genotipe adalah karakter penting (Akbar *et al.*, 2018).

Pada lingkungan tanpa cekaman (perlakuan kontrol), perbedaan yang nyata di antara genotipe (Tabel 10) terlihat pada karakter panjang hipokotil, panjang akar, rasio panjang akar-hipokotil, panjang kecambah, berat kering hipokotil, berat kering akar, berat kering kecambah dan jumlah lateral akar. Sedangkan pada kondisi kekeringan (15% PEG) perbedaan yang nyata di antara genotipe Nampak pada hampir semua karakter, kecuali koefisien vigor, bobot kering akar, dan bobot kering kecambah.

Varians fenotipik dan koefisien variasi fenotipik (PCV) lebih tinggi daripada varians genotipik dan koefisien variasi genotipik (GCV) untuk semua sifat (Tabel 11). Hasil ini menyiratkan pengaruh lingkungan pada ekspresi genetik mereka, atau dengan kata lain, penampilan tidak hanya disebabkan oleh faktor genetik tetapi juga karena kondisi lingkungan (Ritonga *et al.*, 2018), dalam penelitian ini berarti terdapat pengaruh perlakuan PEG pada penampilan semua karakter.

Varians genotip yang luas dan heritabilitas yang tinggi (Tabel 12) dari karakter persentase perkecambahan, indeks vigor, panjang hipokotil, panjang akar, rasio panjang akar-hipokotil, berat kering hipokotil, dan jumlah akar lateral dalam lingkungan tercekam (E2) menunjukkan pengaruh genotipe lebih tinggi

dari lingkungan pada variabilitas karakter ini. Keragaman genetik dan heritabilitas sangat penting dalam proses seleksi. Seleksi akan efektif jika populasi memiliki keragaman genetik yang luas dan heritabilitas tinggi. (Syukur *et al.*, 2011). Menurut Jhonson *et al.*, (2009), karakter yang memiliki nilai heritabilitas > 50% dimungkinkan untuk digunakan sebagai karakter seleksi.

@Tak cipta milik

Tabel 9 Rata-rata, kuadrat tengah dan koefisien variasi berbagai karakter yang diamati dari 22 genotipe cabai pada lingkungan normal (E1) dan tercekam 15% PEG 6000 (E2) di laboratorium

Karakter	Rataan		Kuadrat Tengah			KK
	Kontrol	15% PEG6000	G	P	G x P	
Daya Kecambah (%)	93.03 ± 9.76	83.18 ± 19.23	1.99**	11.25**	1.68**	6.14
Indeks vigor	2.56 ± 1.29	2.24 ± 0.60	0.6**	1.18**	0.03 ^{ns}	13.51
Koefisien vigor	25.23 ± 2.17	24.52 ± 2.70	9.17**	16.58*	4.18 ^{ns}	8.18
Panjang hipokotil (cm)	3.06 ± 0.49	2.79 ± 0.82	1.05**	1.64*	0.50**	15.74
Panjang akar (cm)	6.39 ± 1.64	5.00 ± 1.80	0.08**	0.57**	0.03*	6.78
Rasio Panjang akar-hipokotil	2.12 ± 0.57	1.86 ± 0.62	0.08**	0.24**	0.04**	7.82
Panjang kecambah (cm)	9.45 ± 1.79	7.96 ± 2.34	0.01**	0.05**	0.002*	3.04
Bobot kering hipokotil (g)	0.0071 ± 0.0020	0.0078 ± 0.0033	1 x 10 ⁻⁵ **	7 x 10 ⁻⁶ *	5 x 10 ⁻⁶ **	0.18
Bobot kering akar (g)	0.0070 ± 0.0027	0.0092 ± 0.0090	1 x 10 ⁻⁷ ns	3 x 10 ⁻⁷ ns	37 x 10 ⁻⁸ ns	0.03
Bobot kering kecambah (g)	0.0141 ± 0.0043	0.0170 ± 0.0097	5 x 10 ⁻⁵ **	1 x 10 ⁻⁴ *	2 x 10 ⁻⁵ ns	0.64
Jumlah akar lateral	2.66 ± 1.29	2.64 ± 1.55	0.4**	0.01 ^{ns}	0.12*	13.78

Tabel 10 Kisaran, rata-rata, persentase penurunan di bawah cekaman 15% PEG 6000 (E2) dibandingkan dengan kondisi normal (E1), kuadrat tengah dan koefisien variasi berbagai karakter dalam 22 genotipe cabai

Karakter	Lingkungan	Rentang	Rataan	% Penururan Nilai pada E ₂ dibandingkan E ₁	Kuadrat Tengah Genotipe	KK
Daya Kecambah (%)	E1	60.00-100.00	0.93±0.10	10.59	0.013 ^{ns}	9.71
	E2	30.00-100.00	0.83±0.19		0.091**	12.58
Indeks vigor	E1	1.29-3.03	2.56±0.34	12.54	0.113 ^{ns}	12.53
	E2	0.48-3.08	2.24±0.60		0.898**	14.54
Koefisien vigor	E1	20.69-30.43	25.23±2.17	2.81	4.929 ^{ns}	7.17
	E2	32.00-15.79	24.52±2.70		8.423 ^{ns}	9.23
Panjang hipokotil (cm)	E1	1.82-4.95	3.06±0.49	8.78	0.548**	9.91
	E2	0.00-4.76	2.79±0.82		0.001**	7.69
Panjang akar (cm)	E1	3.24-13.96	6.39±1.64	21.71	5.732**	17.46
	E2	0.60-10.47	5.01±1.80		0.423**	9.60
Rasio Panjang akar-hipokotil	E1	1.03-3.36	2.12±0.57	12.47	0.682**	19.02
	E2	0.64-3.73	1.86±0.62		0.097**	10.41
Panjang kecambah	E1	5.44-18.91	9.45±1.79	17.53	6.849**	13.04
	E2	0.600-14.443	7.80±2.34		0.009**	7.30
Bobot kering hipokotil (g)	E1	0.0029-0.0114	0.0071±0.0020	-9.77	9.75x10 ⁻⁶ **	14.48
	E2	0.0000-0.0161	0.0078±0.0033		1.02x10 ⁻⁵ **	0.22
Bobot kering akar (g)	E1	0.0005-0.0136	0.0070±0.0027	-31.54	1.81x10 ⁻⁵ **	20.36
	E2	0.002-0.057	0.0092±0.0090		4.05x10 ⁻⁵ ns	0.87
Bobot kering kecambah (g)	E1	0.0059-0.0235	0.0141±0.0043	-20.60	4.85x10 ⁻⁵ **	14.37
	E2	0.002-0.0623	0.0170±0.0097		5.49x10 ⁻⁵ ns	0.89
Jumlah akar lateral	E1	0.50-8.36	2.66±1.29	0.51	0.198**	12.89
	E2	0.00-8.50	2.64±1.55		0.005**	3.32

Tabel 11 Tabel penampilan rata-rata genotipe cabai pada kondisi normal dan tercekam 15% PEG 6000

Genotipe	Daya berkecambahan (%)		Panjang Hipokotil (cm)		Panjang akar (cm)		Ratio panjang akar-hipokotil		Panjang kecambahan (cm)		Bobot kering hipokotil (g)		Jumlah akar lateral	
	Kontrol	15% PEG6000	Kontrol	15% PEG6000	Kontrol	15% PEG6000	Kontrol	15% PEG6000	Kontrol	15% PEG6000	Kontrol	15% PEG6000	Kontrol	15% PEG6000
C5	100	93	2.94	3.02	8.50	6.21	2.89	2.06	11.45	9.23	0.0059	0.0087	4.35	2.83
C7	90	100	3.07	3.16	5.86	6.16	1.88	1.94	8.93	9.32	0.0073	0.0075	2.29	2.83
C8	93	80	3.70	3.32	5.04	4.75	1.36	1.44	8.74	8.07	0.0062	0.0080	1.13	0.78
C12	97	43	3.08	2.30	4.69	4.61	1.53	2.22	7.77	6.91	0.0078	0.0045	1.97	3.11
C10	100	100	2.90	2.64	5.46	3.65	1.87	1.39	8.37	6.29	0.0048	0.0060	1.10	0.87
C18	90	97	3.00	2.74	7.24	6.71	2.42	2.46	10.24	9.45	0.0058	0.0082	1.81	2.51
C19	90	73	2.81	3.16	7.64	6.58	2.75	2.16	10.45	9.74	0.0069	0.0072	4.48	3.12
C20	83	100	2.55	2.30	5.59	3.65	2.21	1.63	8.14	5.95	0.0054	0.0076	2.68	2.03
C37	9	100	2.99	3.20	6.46	6.01	2.17	1.88	9.46	9.21	0.0086	0.0128	3.41	2.50
C51	97	90	2.99	3.73	8.08	5.37	2.73	1.48	11.06	9.10	0.0081	0.0138	2.29	4.03
C120	97	60	2.35	2.47	6.30	6.53	2.74	2.67	8.65	8.99	0.0078	0.0051	2.15	2.46
C142	77	53	2.48	2.11	4.97	3.98	2.00	1.93	7.45	6.09	0.0064	0.0044	2.76	1.69
C143	97	50	3.26	0.96	6.85	2.52	2.10	1.92	10.11	3.47	0.0104	0.0034	2.91	0.50
C145	100	97	3.97	3.23	4.66	3.87	1.18	1.24	8.63	7.10	0.0074	0.0077	1.00	1.03
Gada	100	97	3.13	2.69	8.11	6.63	2.65	2.51	11.24	9.32	0.0102	0.0123	3.03	3.03
Syakira	87	90	3.34	1.92	5.75	2.98	1.72	1.57	9.09	4.90	0.0058	0.0063	2.65	3.49
Yuni	97	73	3.06	3.74	7.11	4.34	2.34	1.15	10.17	8.08	0.0075	0.0066	3.09	4.46
Jalapeno	93	87	3.68	3.56	9.10	8.65	2.46	2.48	12.79	12.21	0.0102	0.0103	2.60	4.83
Seloka	97	83	3.65	2.89	6.57	5.23	1.80	1.81	10.22	8.12	0.0058	0.0078	2.27	2.43
SSP	80	80	2.39	2.16	3.84	3.78	1.62	1.79	6.24	5.94	0.0033	0.0043	2.40	1.85
Bonita	90	90	2.82	2.95	5.69	2.50	0.87	8.50	5.45	0.0057	0.0085	3.72	2.89	
Anies	97	93	3.16	3.17	7.12	5.39	2.27	1.68	10.28	8.56	0.0080	0.0097	4.35	4.89

Tabel 12 Estimasi koefisien variasi genotipe, variabilitas genetik, variabilitas fenotip, koefisien variasi fenotipe, variabilitas genetik, variabilitas fenotip, dan herabilitas arti luas dari 22 genotipe cabai di lingkungan normal (E1) dan tercekam 15% PEG (E2) untuk berbagai karakter di laboratorium

Karakter	Lingkungan	KKG	KKP	Ragam Genotipe			Ragam Fenotip			Herabilitas	
				σ^2_G	$2\sigma^2_G$	Kategori	σ^2_P	$2\sigma^2_P$	Kategori	h^2 (bs)	Kategori
Daya Kecambahan	E1	4.31	7.07	0.0016	0.0035	sempit	0.0043	0.0026	luas	37.17	sedang
	E2	19.63	20.93	0.0267	0.0182	luas	0.0303	0.0179	luas	87.97	tinggi
Indeks Vigor	E1	2.24	7.57	0.0033	0.0381	sempit	0.0376	0.0221	luas	8.75	rendah
	E2	22.96	24.45	0.2641	0.1794	luas	0.2994	0.1766	luas	88.21	tinggi
Koefisien vigor	E1	2.95	5.08	0.5535	1.3821	sempit	1.6430	0.9690	luas	33.69	sedang
	E2	4.28	6.83	1.1019	2.2634	sempit	2.8077	1.6559	luas	39.25	sedang
Panjang Hipokotil	E1	12.75	13.97	0.1522	0.1113	luas	0.1828	0.1078	luas	83.24	tinggi
	E2	0.59	0.72	0.0003	0.0003	luas	0.0004	0.0002	luas	68.71	tinggi
Panjang Akar	E1	19.12	21.62	1.4950	1.1878	luas	1.9106	1.1268	luas	78.25	tinggi
	E2	5.98	6.55	0.0895	0.0655	luas	0.1076	0.0634	luas	83.25	tinggi
Rasio Panjang akar-hipokotil	E1	19.58	22.45	0.1730	0.1428	luas	0.2273	0.1341	luas	76.08	tinggi
	E2	9.54	10.49	0.0315	0.0232	luas	0.038003	0.0224	luas	82.82	tinggi
Panjang kecambahan	E1	14.10	15.98	1.7761	1.4222	luas	2.2829	1.3464	luas	77.80	tinggi
	E2	1.63	1.91	0.0161	0.0143	luas	0.0223	0.0131	luas	72.25	tinggi
Bobot Kering hipokotil	E1	24.09	25.51	2.9 x 10 ⁻⁶	1.9 x 10 ⁻⁶	luas	3.3 x 10 ⁻⁶	1.9 x 10 ⁻⁶	luas	89.23	tinggi
	E2	20.80	23.77	2.6 x 10 ⁻⁶	2.1 x 10 ⁻⁶	luas	3.4 x 10 ⁻⁶	2.0 x 10 ⁻⁶	luas	76.57	tinggi
Bobot Kering Akar	E1	33.05	35.08	5.4 x 10 ⁻⁶	3.6 x 10 ⁻⁶	luas	6.0 x 10 ⁻⁶	3.6 x 10 ⁻⁶	luas	88.77	tinggi
	E2	8.03	39.91	5.5 x 10 ⁻⁷	1.4 x 10 ⁻⁵	sempit	1.3 x 10 ⁻⁵	8.0 x 10 ⁻⁶	luas	4.05	rendah
Bobot Kering Kecambahan	E1	27.35	28.58	1.5 x 10 ⁻⁵	9.6 x 10 ⁻⁶	luas	1.6 x 10 ⁻⁵	9.5 x 10 ⁻⁶	luas	91.56	tinggi
	E2	12.67	25.22	4.6 x 10 ⁻⁶	1.6 x 10 ⁻⁵	sempit	1.8 x 10 ⁻⁵	1.1 x 10 ⁻⁵	luas	25.26	sedang
Jumlah Akar Lateral	E1	8.10	9.67	0.0464	0.0428	luas	0.0660	0.0390	luas	70.19	tinggi
	E2	1.31	1.54	0.0012	0.0011	luas	0.0016	0.0010	luas	73.10	tinggi

Keterangan : KKG = koefisien keragaman genotipik, KKP = koefisien keragaman fenotipik, σ^2_p = ragam fenotip, σ^2_g = ragam genotipik, σ_{σ_g} = standar deviasi ragam genotipik, σ_{σ_p} = standar deviasi ragam fenotipik



4.5.2.2 Analisis Komponen Utama (AKU)

AKU digunakan untuk melihat karakter yang berkontribusi paling besar dalam membentuk keragaman. Analisis komponen utama menunjukkan bahwa komponen utama pertama (KU1) menjelaskan keragaman variabel perkecambahan sebesar 45.0%, sedangkan KU2 menjelaskan 22.0% keragaman dan KU3 menjelaskan 14.0% keragaman (Tabel 13). Komponen utama yang dipilih adalah komponen utama dengan nilai eigen lebih besar dari satu. Komponen utama dengan nilai eigen kurang dari satu tidak dianggap stabil dalam analisis karena menjelaskan lebih sedikit variabilitas daripada variabel tunggal dan tidak dipertahankan dalam penelitian ini (Girden 2001). Dalam pengertian ini, kita dapat memilih lebih sedikit faktor daripada jumlah variabel asli, yaitu variabel yang berkontribusi lebih besar terhadap variabilitas.

KU1 memiliki nilai proporsi tertinggi yaitu 45%, hal ini menunjukkan bahwa KU1 dapat menjelaskan keragaman data hingga 45%. Akumulasi keragaman yang dapat dijelaskan oleh KU1, KU2, dan KU3 adalah sebesar 81.0%. Ini berarti bahwa karakter yang terkandung dalam tiga komponen utama ini adalah karakter yang memiliki kontribusi besar dalam membentuk keragaman populasi di lingkungan yang mengalami kekurangan air.

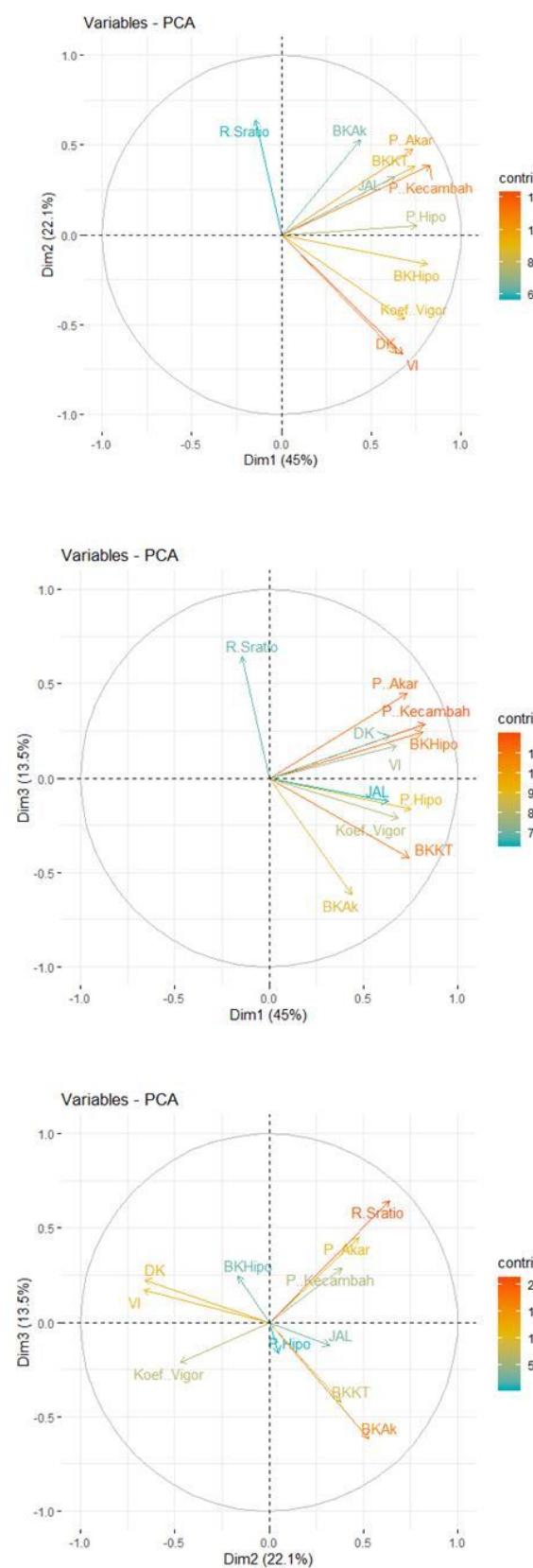
Tabel 13 Analisis komponen utama karakter kecambah cabai

Karakter	Komponen utama 1	Komponen utama 2	Komponen utama 3
Daya berkecambah	0.29	0.42*	0.19
Indeks vigor	0.30*	0.43*	0.14
Koefisien vigor	0.31*	0.30*	-0.17
Panjang hipokotil	0.34*	-0.03	-0.14
Panjang akar	0.33*	-0.30*	0.37*
Rasio panjang akar-hipokotil	-0.07	-0.41*	0.53*
Panjang kecambah	0.37*	0.105	0.2
Bobot kering hipokotil	0.37*	-0.246	0.24*
Bobot kering akar	0.20	-0.34*	-0.51*
Bobot kering kecambah	0.33*	-0.244	-0.35*
Jumlah akar lateral	0.28	-0.206	-0.1
Nilai eigen	4.95	2.43	1.48
Proporsi	0.45	0.22	0.14
Kumulatif	0.45	0.67	0.81

* Nilai skor komponen lebih besar dari nilai rata-rata skor setiap komponen utama

Karakter yang dipilih di masing-masing komponen utama adalah karakter yang memiliki skor komponen di atas skor rata-rata setiap komponen utama (Girden 2001). Berdasarkan hasil analisis komponen utama, karakter panjang hipokotil, panjang akar, rasio panjang akar dengan panjang hipokotil, panjang kecambah, bobot kering hipokotil, daya kecambah dan indeks vigor dapat digunakan sebagai karakter yang paling berkontribusi dalam membentuk keragaman (Gambar 9).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 9 Biplot 11 karakter kecambah cabai pada KU1, KU2 dan KU3



Berdasarkan hasil ANOVA dan AKU, enam karakter dipilih sebagai karakter seleksi, yaitu daya berkecambah, panjang hipokotil, panjang akar, rasio panjang akar dengan panjang hipokotil, panjang kecambah dan berat kering hipokotil. Jumlah akar lateral dipertimbangkan untuk tidak dipilih sebagai salah satu karakter seleksi karena berdasarkan analisis KU tidak berkontribusi dalam membentuk keragaman pada populasi di bawah kondisi kekeringan, meskipun memiliki interaksi yang signifikan dan memiliki variabilitas genetik yang luas dan heritabilitas yang tinggi. Karakter indeks Vigor, koefisien vigor, bobot kering akar, dan bobot kering semai tidak dipilih sebagai karakter seleksi karena interaksinya tidak signifikan.

4.5.2.3 Indeks Sensitivitas Kekeringan

Indeks sensitivitas kekeringan (ISK) adalah salah satu indeks yang dapat digunakan untuk menilai penurunan hasil karena lingkungan suboptimum dibandingkan dengan lingkungan optimal (Fisher dan Maurer, 1978). Nilai ISK yang rendah menunjukkan bahwa genotipe yang diuji pada kondisi sub-optimal tidak menunjukkan penurunan besar sehingga genotipe dapat dikatakan toleran.

Karakter yang digunakan untuk menghitung nilai ISK dipilih dari hasil analisis ragam, parameter genetik, dan analisis komponen utama. Karakter-karakter ini adalah panjang hipokotil, panjang akar, rasio panjang akar dan panjang hipokotil, panjang kecambah, bobot kering hipokotil, dan daya berkecambah.

Tabel 14 Nilai indeks sensitivitas kekeringan di bawah cekaman konsentrasi 15% PEG 6000 pada berbagai karakter dalam 22 genotipe cabai

Genotipe	Panjang Hipokotil	Panjang Akar	Rasio panjang akar-hipokotil	Panjang kecambah	Berat kering hipokotil	Daya kecambah
IPB C5	-0.28	1.24	2.44	1.10	5.00	0.63
IPB C7	-0.30	-0.24	-0.26	-0.25	0.22	-1.05
IPB C8	1.17	0.26	-0.52	0.44	2.85	1.35
IPB C12	2.88	0.08	-3.86	0.63	-4.33	5.21
IPB C10	1.04	1.53	2.17	1.42	2.72	0.00
IPB C18	1.00	0.34	-0.15	0.44	4.24	-0.70
IPB C19	-1.43	0.64	1.84	0.39	0.45	1.75
IPB C20	1.10	1.60	2.24	1.53	4.02	-1.89
IPB C37	-0.78	0.32	1.16	0.15	5.00	-0.33
IPB C51	-2.84	1.54	3.91	1.01	7.13	0.65
IPB C120	-0.58	-0.16	0.22	-0.22	-3.59	3.58
IPB C142	1.71	0.92	0.29	1.04	-3.16	2.87
IPB C143	8.05	2.91	-3.14	3.75	-6.85	4.56
IPB C145	2.12	0.78	-0.42	1.01	0.37	0.31
Gada	1.60	0.84	0.43	0.98	2.07	0.31
Syakira	4.82	2.22	0.73	2.63	0.82	-0.36
Yuni	-2.54	1.79	4.33	1.17	-1.22	2.28
Jalapeno	0.38	0.23	-0.07	0.26	0.03	0.67
Seloka	2.38	0.94	-0.06	1.17	3.51	1.30
SSP	1.13	0.07	-0.91	0.27	3.24	0.00
Bonita	-0.53	2.58	4.92	2.05	4.94	0.00
Anies	-0.06	1.12	2.21	0.95	2.13	0.33

Tabel 15 Toleransi masing-masing peubah dari 22 genotipe cabai berdasarkan klasifikasi Kumar *et al.*, (2014)

Genotipe	Panjang Hipokotil	Panjang Akar	Rasio panjang akar-hipokotil	Panjang kecambah	Berat kering hipokotil	Daya kecambah
IPB C5	ST	P	P	P	P	T
IPB C7	ST	ST	ST	ST	ST	ST
IPB C8	P	ST	ST	ST	P	P
IPB C12	P	ST	ST	T	ST	P
IPB C10	P	P	P	P	P	ST
IPB C18	M	ST	ST	ST	P	ST
IPB C19	ST	T	P	ST	ST	P
IPB C20	P	P	P	P	P	ST
IPB C37	ST	ST	P	ST	P	ST
IPB C51	ST	P	P	P	P	T
IPB C120	ST	ST	ST	ST	ST	P
IPB C142	P	M	ST	P	ST	P
IPB C143	P	P	ST	P	ST	P
IPB C145	P	M	ST	P	ST	ST
Gada	P	M	ST	M	P	ST
Syakira	P	P	T	P	M	ST
Yuni	ST	P	P	P	ST	P
Jalapeno	ST	ST	ST	ST	ST	T
Seloka	P	M	ST	P	P	P
SSP	P	ST	ST	ST	P	ST
Bonita	ST	P	P	P	P	ST
Anis	ST	P	P	M	P	ST

Keterangan: ST=Sangat Toleran, T = Toleran, M = Moderat, P = Peka

Tabel 16 Skoring masing-masing peubah dan klasifikasi toleransi 22 genotipe cabai di bawah kondisi cekaman 15% PEG 6000 mengacu pada metode Misnen *et al.*, (2012)

No	Genotipe	Panjang Hipokotil	Panjang Akar	Rasio panjang akar-hipokotil	Panjang kecambah	Berat kering hipokotil	Daya kecambah	Skor	Kelas Toleransi
1.	IPB C5	3	0	0	0	0	2	5	M
2.	IPB C7	3	3	3	3	3	3	18	ST
3.	IPB C8	0	3	3	3	0	0	9	T
4.	IPB C12	0	3	3	2	3	0	11	T
5.	IPB C10	0	0	0	0	0	3	3	P
6.	IPB C18	1	3	3	3	0	3	13	T
7.	IPB C19	3	2	0	3	3	0	11	T
8.	IPB C20	0	0	0	0	0	3	3	P
9.	IPB C37	3	3	0	3	0	3	12	T
10.	IPB C51	3	0	0	0	0	2	5	M
11.	IPB C120	3	3	3	3	3	0	15	ST
12.	IPB C142	0	1	3	0	3	0	7	M
13.	IPB C143	0	0	3	0	3	0	6	M
14.	IPB C145	0	1	3	0	3	3	10	T
15.	Gada	0	1	3	1	0	3	8	M
16.	Syakira	0	0	2	0	1	3	6	M
17.	Yuni	3	0	0	0	3	0	6	M
18.	Jalapeno	3	3	3	3	3	2	17	ST
19.	Seloka	0	1	3	0	0	0	4	P
20.	SSP	0	3	3	3	0	3	12	T
21.	Bonita	3	0	0	0	0	3	6	M
22.	Anis	3	0	0	1	0	3	7	M

Keterangan: ST=Sangat Toleran, T = Toleran, M = Moderat, P = Peka

Tabel 13 menyajikan nilai ISK masing-masing peubah terpilih dari 22 genotipe, dan Tabel 14 menyajikan klasifikasi toleransi masing-masing karakter terhadap kondisi kekurangan air. Penilaian dan klasifikasi genotipe sesuai dengan kemampuan mereka untuk mengatasi cekaman kekurangan air, yang mengacu pada metode Misnen *et al.*, (2012) disajikan pada Tabel 15. Hasil penilaian menunjukkan dari 22 genotipe yang diuji, terdapat tiga genotipe termasuk kategori peka, yaitu IPB C10, IPB C20 dan Seloka. Sembilan genotipe dengan kategori moderat yaitu IPB C5, IPB C51, IPB C142, IPB C143, Gada, Syakira, Yuni, Bonita, dan Anies. Tujuh genotipe termasuk kedalam kategori toleran, yaitu IPB C8, IPB C12, IPB C18, IPB C19, IPB C37, IPB C145 dan SSP, sedangkan tiga genotipe lainnya yaitu IPB C7, IPB C120, dan Jalapeno termasuk kategori sangat toleran.

4.6 Simpulan

Larutan 15% PEG 6000 dalam fase perkecambahan dapat digunakan untuk mendeteksi toleransi kekeringan pada cabai. Karakteristik panjang hipokotil, panjang akar, rasio panjang akar dengan panjang hipokotil, panjang kecambah, bobot kering hipokotil, dan daya berkecambahan dapat digunakan sebagai karakter untuk mendeteksi toleransi kekeringan genotipe cabai pada fase perkecambahan.

Genotipe cabai IPB C7, IPB C120, dan Jalapeno merupakan genotipe yang sangat toleran terhadap kekurangan air, genotipe IPB C8, IPB C12, IPB C18, IPB C19, IPB C37, IPB C145 dan SSP termasuk genotipe toleran terhadap kekurangan air, genotipe IPB C5, IPB C51, IPB C142, IPB C143, Gada, Syakira, Yuni, Bonita, dan Anies termasuk genotipe moderat toleran dan genotipe IPB C10, IPB C20 dan Seloka termasuk genotipe peka terhadap kekurangan air berdasarkan karakter perkecambahan.





©Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



V ANALISIS SILANG DIALEL UNTUK PENDUGAAN PARAMETER GENETIK DAN DAYA GABUNG TOLERANSI TANAMAN CABAI TERHADAP CEKAMAN PENGAIRAN TERBATAS

5.1 Abstract

This study aims to obtain information on the general and specific combining ability of agronomic and yield components characters of chili genotypes and the hybrid from half-diallel crosses in optimal and less irrigation environments. Six chili lines were crossed according to the Griffing II method so that 15 F1 hybrids and 6 inbreed genotypes were obtained as a set of experiments. The study was conducted using an Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications. Analysis of genetic parameters shows the value of dominant variance is greater than the additives variance based on their sensitivity index to the less irrigation stress of each character. High influence of dominant genes in the performance of a character indicates that these characters are good for heterosis exploitation in order to form hybrid varieties. Combining ability analysis showed that genotype with the highest General Combining Ability (GCA) value for characters based on drought sensitivity index are Seloka genotype for fruit weight and the number of branches characters and IPB C-8 genotype for fruit number character. Both genotypes show good GCA value for yield component characters in optimal and less irrigation stress environments. The high GCA value on these characters shows that the genotype gives a better appearance of the component characters when crossed with other genotypes. The results of the combining ability in half diallel crosses show the combination of crosses that have the highest Specific Combining Ability (SCA) value for the character of the yield component are IPB C-10 x Seloka for fruit weight and the number of fruits. The estimated value of SCA as an indicator of the effect of dominant genes and epistasis, while GCA indicates the effect of additive genes.

5.2 Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi daya gabung umum (DGU) dan daya gabung khusus (DGK) karakter agronomi dan komponen hasil genotipe-genotipe cabai dan hibrida cabai silang setengah dialel pada lingkungan normal dan cekaman kekeringan. Enam galur cabai disilangkan menurut metode Griffing II, sehingga diperoleh 15 genotipe F1 sebagai satu set percobaan. Penelitian dilakukan menggunakan Rancangan Kelompok Lengkap Teracak (RKLT) dengan tiga ulangan. Analisis parameter genetik memperlihatkan nilai ragam dominan yang lebih besar dari ragam aditif berdasar indeks sensitifitasnya terhadap pengairan terbatas dari masing-masing karakter. Tingginya pengaruh gen-gen dominan dalam mempengaruhi keragaan suatu karakter menandakan bahwa karakter-karakter tersebut sangat baik untuk dieksplorasi heterosisnya dalam rangka membentuk varietas hibrida. Analisis daya gabung menunjukkan genotipe yang memiliki nilai DGU tertinggi untuk karakter-karakter berdasar indeks sensitifitas kekeringan yaitu genotipe Seloka untuk karakter bobot buah dan jumlah cabang

serta genotipe IPB C-8 untuk karakter jumlah buah. Kedua genotipe tersebut menunjukkan nilai DGU yang baik untuk karakter komponen hasil pada lingkungan normal dan cekaman kekeringan. Nilai DGU yang tinggi pada karakter tersebut menunjukkan tetua tersebut memberikan penampilan karakter komponen hasil yang lebih baik apabila disilangkan dengan genotipe yang lain. Hasil analisis daya gabung pada persilangan setengah dialel menunjukkan kombinasi persilangan yang memiliki nilai DGK (Daya Gabung Khusus) tertinggi untuk karakter komponen hasil. Genotipe-genotipe tersebut yaitu IPB C-10 x Seloka untuk karakter bobot buah dan jumlah buah. Nilai duga DGK sebagai indikator adanya efek gen dominan dan epistasis sedangkan DGU mengindikasikan efek gen aditif.

5.3 Pendahuluan

5.3.1 Latar Belakang

Kemampuan adaptasi yang rendah terhadap cekaman lingkungan merupakan salah satu kendala dalam peningkatan produksi cabai (Harpenas dan Dermawan 2009). Keberhasilan dalam mengatasi permasalahan cekaman lingkungan ini merupakan salah satu kunci keberhasilan dalam meningkatkan produksi cabai.

Solusi permasalahan cekaman abiotik dapat dilakukan dengan dua cara. Cara pertama adalah dengan memodifikasi lahan-lahan suboptimal sedemikian rupa sehingga menyerupai lingkungan yang disukai suatu varietas tertentu (pendekatan budidaya) atau yang kedua dengan melakukan perbaikan tanaman agar toleran terhadap cekaman-cekaman abiotik tertentu sesuai dengan kebutuhan atau dengan kata lain mengembangkan varietas-varietas tanaman baru yang toleran terhadap cekaman lingkungan abiotik (pendekatan pemuliaan tanaman).

Praktek-praktek budidaya untuk mengurangi cekaman kekeringan biasanya mahal, merepotkan, dan memerlukan keahlian khusus untuk pelaksanaannya (Athar dan Ashraf 2009). Penggunaan tanaman budidaya yang tahan kekeringan nampaknya lebih memungkinkan dan efisien dalam mencapai produktivitas tanaman yang tinggi pada daerah yang dilanda kekeringan.

Sampai saat ini ketersediaan galur-galur atau varietas cabai merah komersil yang toleran kekeringan dapat dikatakan masih belum ada. Galur-galur cabai besar dan varietas hibrida Hot Beauty, Wonder Hot, Miles flavor, Ever Flavor dan Hero pada umumnya lebih berhasil pada lahan-lahan subur dan beririgasi cukup (Kusumainderawati 2003). Karenanya dalam rangka meningkatkan produktivitas cabai merah di lahan kering, diperlukan perakitan varietas cabai yang toleran terhadap cekaman kekeringan dan berdaya hasil tinggi.

Informasi genetik mengenai toleransi tanaman cabai terhadap cekaman kekeringan diperlukan dalam rangka memperoleh varietas yang memiliki sifat tersebut. Untuk mengetahui perilaku genetic dari gen-gen yang mengendalikan toleransi tanaman cabai terhadap cekaman kekeringan dapat dilakukan melalui pendugaan parameter genetik. Pendugaan parameter genetik ini Antara lain dapat dilakukan dengan metode analisis silang dialel. Menurut Johnson (1963) dalam Agustina *et al.*, (2005), program persilangan dialel merupakan pendekatan sistematis guna mendeteksi tetua dan persilangannya yang tepat untuk karakter yang diteliti. Selain itu, analisis dialel memberi kesempatan pemuliaan tanaman



untuk memilih metode seleksi yang paling efisien dengan menyediakan pendugaan beberapa parameter genetik, sebab secara analitik teknik persilangan dialel ini merupakan evaluasi genetik menyeluruh yang berguna dalam mengidentifikasi potensi persilangan terbaik pada generasi awal.

Dengan menggunakan analisis silang dialel pendugaan parameter genetik bisa dilakukan pada F1, tanpa harus membentuk populasi F2, BCP1 atau BCP2, seperti pada pendugaan parameter genetik lainnya. Asumsi dasar yang digunakan dalam analisis dialel adalah, 1) merupakan segregasi diploid, 2) tidak ada perbedaan pada persilangan resiproknya, 3) tidak terdapat pengaruh gen linkage, 4) tidak terjadi peristiwa multiple alel, 5) tetua homozigot, 6) gen berdistribusi bebas di antara tetua (Hayman 1954).

Penggunaan analisis dialel memberikan peluang untuk dilakukannya penilaian daya gabung (Dudley *et al.*, 1999), menduga efek aditif dan dominan dari suatu populasi yang selanjutnya dapat digunakan untuk menduga ragam genetik dan heritabilitas (Baihaki 2000) serta dapat juga untuk menduga nilai heterosis dari kombinasi persilangan yang dilakukan. Pemanfaatan heterosis dan heterobeltiosis sangat penting untuk perakitan hibrida karena dapat menyebabkan peningkatan kuantitas dan kualitas hasil. Karenanya analisis silang dialel diperlukan dalam rangka mempelajari aksi gen (aditif atau dominan) dan daya gabung masing-masing tetua sehingga bisa diperoleh informasi tetua-tetua yang memiliki daya gabung dalam toleransinya terhadap cekaman kekeringan.

5.3.2 Tujuan Penelitian

1. Menduga parameter genetik toleransi tanaman cabai terhadap cekaman kekeringan
2. Mempelajari daya gabung umum dan daya gabung khusus toleransi beberapa genotipe cabai terhadap cekaman kekeringan

5.4 Metode Penelitian, Waktu dan Tempat

Pembentukan populasi dilakukan setelah diketahui kandidat genotipe toleran dan peka, persilangan dilakukan mulai bulan Agustus 2014 sampai bulan Februari 2015 di Cibeureum, Bogor dan bulan September 2015- Februari 2016 di Serpong, Tangerang Selatan.

Evaluasi populasi hasil persilangan dilakukan pada Musim kering 2016, mulai bulan Maret 2016 sampai bulan September 2016 di Kebun Percobaan IPB Tajur, Bogor.

5.4.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah 6 genotipe tetua yaitu IPB C-10, IPB C-7, IPB C8, IPB C-18, SSP dan Seloka, serta 15 genotipe hibrida hasil Persilangan setengah dialel dengan kode hibrida F1 yaitu IPB C-10 x IPB C-7, IPB C-10 x IPB C-8, IPB C-10 x IPB C-18, IPB C-10 x SSP, IPB C-10 x Seloka, IPB C-7 x IPB C-8, IPB C-7 x IPB C-18, IPB C-7 x SSP, IPB C-7 x Seloka, IPB C-8 x IPB C-18, IPB C-8 x SSP, IPB C-8 x Seloka, IPB C-18 x SSP, IPB C-18 x Seloka, SSP x Seloka. Selain itu digunakan juga 1 varietas hibrida pembanding yaitu Gada MK F1 yang secara komersil dikatakan toleran terhadap cekaman kekeringan.

5.4.2 Metodologi

5.4.2.1 Pembentukan Populasi

Persilangan dilakukan secara buatan dan silang dalam dilakukan dengan cara menutup individu tanaman dengan sungkup yang terbuat dari kain tricot atau mengisolasi individu bunga dengan isolatif.

5.4.2.2 Pengujian Toleransi Populasi Dialel terhadap Kondisi Cekaman Kekeringan Dalam Pot

Percobaan disusun dalam rancangan kelompok lengkap teracak satu faktor, yaitu 21 genotipe (15 genotipe F1 hasil silang dialel dan enam genotipe tetua). Percobaan diulang tiga kali. Penanaman dilakukan di rumah kaca kebun percobaan IPB Tajur, Bogor dengan perlakuan cekaman seperti pada metode penapisan dalam bab 4.

Data yang diperoleh akan diolah menggunakan pendekatan metode Griffing II.

5.4.3 Pelaksanaan

5.4.3.1 Pembentukan Populasi Dialel

Penyungkupan dilakukan pada saat tanaman belum berbunga untuk menghindari masuknya serbuk sari dari tanaman lain. Persilangan buatan dilakukan antara pukul 9.00-11.00 pagi (saat hari cerah). Bunga tetua betina dipilih yang masih kuncup, tetapi telah mencapai ukuran penuh. Pada fase ini diperkirakan putik sudah matang tetapi kotak sari belum pecah. Emaskulasi dilakukan dengan cara membuka mahkota bunga dan membuang seluruh benang sari secara hati-hati dengan menggunakan pinset kecil agar kotak sari tidak pecah.

Setiap kali akan digunakan untuk emaskulasi, pinset terlebih dahulu dicelupkan ke dalam alkohol 70% dan dikeringkan. Hal ini dilakukan untuk menghindari kontaminasi terhadap bunga yang diemaskulasi oleh serbuk sari dari bunga yang diemaskulasi sebelumnya (Greenleaf 1986). Bunga yang telah diemaskulasi selanjutnya diserbuki dengan serbuk sari bunga tetua jantan yang diambil dari bunga mekar yang masih segar. Penyerbukan dilakukan segera setelah emaskulasi guna menghindari persilangan yang tidak diinginkan. Bunga yang sudah diserbuki selanjutnya ditutup (diisolasi) selama satu minggu. Bunga tersebut diberi label kecil pada tangainya, bertuliskan kombinasi persilangan dan tanggal persilangan. Buah dipanen pada saat telah berwarna merah penuh, yang merupakan tanda buah telah matang. Ekstraksi biji dilakukan dengan membelah buah secara membujur, biji-bijinya dikeluarkan dan dijemur sampai kering. Biji dari buah hasil persilangan (F₁) dan hasil silang dalam tanaman F₁ diekstraksi secara terpisah untuk masing-masing buah.

5.4.3.2 Pengujian Toleransi Populasi Dialel terhadap Kondisi Cekaman Kekeringan Dalam Pot

Kegiatan penyemaian, pemeliharaan, media yang digunakan serta peubah yang diamati adalah sama dengan percobaan 1. Perlakuan penyiraman yang diterapkan adalah hasil percobaan 1 yang menunjukkan keragaman peubah tertinggi.



5.4.4 Pengamatan

Peubah yang diamati pada percobaan ini meliputi:

A. Pengamatan parameter vegetatif

a. Tinggi tanaman (cm)

Tinggi tanaman diamati setelah panen kedua. Tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah sampai pucuk tanaman tertinggi menggunakan meteran

b. Tinggi dikotomus (cm)

Tinggi dikotomus diamati setelah panen kedua. Tinggi dikotomus diukur dari permukaan tanah sampai percabangan pertama dengan menggunakan meteran

c. Diameter batang (mm)

Diameter batang diamati setelah panen kedua. Diameter batang diukur pada batang tanaman 10 cm dari permukaan tanah dengan menggunakan jangka sorong.

d. Jumlah cabang

Jumlah cabang diamati pada saat panen.

e. Panjang Akar (cm)

Panjang akar diamati diakhir masa percobaan. Panjang akar diukur dari pangkal akar sampai ujung terpanjang dari akar.

f. Jumlah akar lateral

Jumlah akar lateral diamati diakhir masa percobaan. Jumlah akar dihitung berdasarkan jumlah akar yang keluar dari akar utama (akar tunggang) (Gambar 2).

g. Bobot kering tajuk (g)

Bobot kering tajuk diamati di akhir masa percobaan. Tajuk dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60 °C sampai mencapai nilai konstan, kemudian diukur bobotnya.

h. Bobot kering akar (g)

Bobot kering akar diamati di akhir masa percobaan. Akar dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60 °C sampai mencapai nilai konstan, kemudian diukur bobotnya.

i. Rasio akar tajuk

Pengamatan dilakukan setelah panen dengan terlebih dahulu dilakukan pengamatan bobot kering tajuk dan bobot kering akar. Rasio akar dengan tajuk dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\text{Rasio akar tajuk} = \text{bobot kering akar} / \text{bobot kering tajuk}$$

B. Pengamatan parameter generatif

a. Jumlah buah per tanaman (g)

Jumlah buah dihitung dari awal panen sampai akhir panen selama 8 minggu.

b. Bobot buah per tanaman (g/tanaman)

Bobot buah ditimbang dengan timbangan digital dari awal panen sampai 8 minggu.

5.4.5 Analisis Data

Data yang telah direkapitulasi kemudian dianalisis menggunakan software AGD-R dengan tahapan sebagai berikut:

5.4.5.1 Analisis Ragam

Analisis ragam dilakukan dengan menggunakan sidik ragam (Mattjik dan Sumertajaya 2006) dengan model linier:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Keterangan:

- Y_{ijk} : Pengamatan pada genotipe ke- i dan kelompok ke- j
- μ : Rataan umum
- τ_i : Pengaruh genotipe ke- i
- β_j : Pengaruh kelompok ke- j
- ϵ_{ij} : Pengaruh acak pada genotipe ke- i dan kelompok ke- j

Untuk mengetahui perbandingan rataan, dilakukan uji lanjut dengan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada karakter yang berbeda nyata pada uji F pada taraf 5%.

5.4.5.2 Analisis Daya Gabung

Daya gabung dianalisis dengan menggunakan prosedur analisis dialel metode II Griffing seperti formulasi yang dikemukakan oleh Singh dan Chaudhary (1979). Sidik ragam daya gabung dengan menggunakan metode 2 terdapat pada Tabel 17.

Tabel 17 Sidik ragam daya gabung metode Griffing II

Sumber Keragaman	Derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	E(KT)
DGU	$p-1$	J_k DGU	KT_{DGU}	$\sigma^2_e + \sigma^2_{dgk} + (p+2) \sigma^2_{dgu}$
DGK	$p(p-1)$	J_K DGK	KT_{DGK}	$\sigma^2_e + \sigma^2_{dgk}$
Galat	$(r-1)[(p-1)+(p(p-1)/2)]$	J_K Galat	KT_{Galat}	σ^2_e

Berdasarkan tabel sidik ragam untuk analisis daya gabung Metode Griffing II di atas, maka komponen ragam dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\sigma^2_e &= KT_{galat} \\ \sigma^2_{dgk} &= KT_{dgk} - KT_{galat} \\ \sigma^2_{dgu} &= (KT_{dgu} - KT_{dgk})/p+2\end{aligned}$$

Komponen genetik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang diberikan oleh Singh dan Chaudhary (1979), sebagai berikut:

$$\sigma^2_{dgu} = \frac{1}{2} \sigma^2_A \text{ dan } \sigma^2_{dgk} = \sigma^2_D$$

Estimasi pengaruh DGU dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$dgk_{ij} = \frac{1}{n+2} \left[\sum (Y_{i.} + Y_{ij}) - \frac{2}{n} Y_{..} \right]$$

Estimasi pengaruh DGK dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$dgk_{ij} = Y_{ij} - \frac{1}{n+2} \left[Y_{i.} + Y_{ij} + Y_{.j} + \frac{2}{(n+1)(n+2)} Y_{..} \right]$$



Perbedaan nyata antar kombinasi persilangan dievaluasi berdasarkan rumus:

$$C.D = S.E \times t = x \times t \text{ (tabel)}$$

Nilai duga heritabilitas arti sempit dihitung dengan menggunakan persamaan yang diberikan Roy 2000, sebagai berikut:

$$H_{ns}^2 = \frac{\sigma_{DGU}^2}{2\sigma_{DGU}^2 + \sigma_{DGK}^2 + \sigma_e^2}$$

dimana: H_{ns}^2 = Nilai duga heritabilitas arti sempit
 σ_{DGU}^2 = Ragam Daya Gabung Umum
 σ_{DGK}^2 = Ragam Daya Gabung Khusus
 σ_e^2 = Ragam galat

5.2.5.3 Analisis Pengaruh Genetik (RG)

Rasio genetik (RG) dianalisis untuk mengetahui pengaruh genetik aditif atau pengaruh genetik dominan yang lebih penting dalam mengendalikan karakter dihitung menggunakan persamaan yang dijelaskan oleh Baker (1978) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$RG = 2KTDGU / (KTDGU + KTDGK)$$

Jika nilai rasio genetik lebih dari satu (>1) maka pengaruh genetik aditif lebih penting dalam mengendalikan karakter, sedangkan jika nilai rasio genetik kurang dari satu (<1) maka pengaruh genetik non-aditif (dominan) lebih penting dalam mengendalikan karakter.

5.5 Hasil dan Pembahasan

5.5.1 Pendugaan Parameter Genetik

Hasil analisis ragam terhadap nilai indeks sensitivitas kekeringan (ISK) dari masing-masing karakter menunjukkan terdapat ragam DGU yang nyata (taraf nyata 5%) pada karakter jumlah akar lateral dan ragam DGK yang sangat nyata (taraf nyata 1%) pada karakter jumlah buah (Tabel 18). Ragam DGU yang berbeda nyata mengindikasikan adanya pengaruh gen aditif pada suatu karakter, sedangkan ragam DGK yang berbeda nyata mengindikasikan bahwa terdapat kendali gen non-aditif pada karakter tersebut.

Ragam DGU untuk karakter jumlah akar lateral berdasarkan ISK-nya memperlihatkan nilai lebih tinggi daripada ragam DGKnya sedangkan untuk karakter jumlah buah ragam DGU lebih rendah dari ragam DGK. Zare *et al.* (2011) menggunakan sebuah acuan rumus nisbah kuadrat tengah yaitu $2KTDGU / (2KTDGU + KTDGK)$, untuk mengevaluasi pengaruh gen aditif atau non-aditif yang lebih penting dalam mengendalikan suatu karakter. Hasil analisis rasio genetik (RG) menunjukkan karakter jumlah akar lateral memiliki nilai RG 1 sedangkan karakter jumlah buah memiliki nilai RG lebih kecil dari 1. Nilai RG yang lebih kecil dari 1 memberikan indikasi bahwa pengaruh gen-gen non aditif lebih penting dalam mengendalikan suatu karakter. Zare *et al.*, (2011) mengungkapkan bahwa tingginya pengaruh gen-gen dominan dalam mempengaruhi keragaman suatu karakter menandakan bahwa karakter-karakter tersebut sangat baik untuk dieksplorasi heterosisnya dalam rangka membentuk varietas hibrida.

Tabel 18 Nilai duga ragam DGU, DGK, galat, aditif, dominan, rasio ragam aditif-dominan, rasio Baker, ragam fenotip, heritabilitas arti sempit dan heritabilitas arti luas dari masing-masing karakter cabai berdasar nilai indeks sensitivitasnya

Parameter Genetik	JAL	BKAk	BKTj	BKBr	Jcab	Pakar	RAT	JBh	BBh
Ragam DGU	0.026*	0.000	0.000	0	0.000	0.0072	0.026	2.1×10^{-6}	0.001
Ragam DGK	0.000	0.010	0.003	0.003	0.000	0.1351	0.064	$1.6 \times 10^{-5}**$	0
Ragam galat	0.495	0.233	0.098	0.093	0.310	0.7418	2.362	2.5×10^{-5}	0.042
Ragam Aditif	0.052	0.000	0.000	0	0.000	0.0145	0.052	4.3×10^{-6}	0.002
Ragam dominan	0.000	0.010	0.003	0.003	0.000	0.1351	0.064	1.5×10^{-5}	0
Rasio DGU-DGK	-	0.000	0.000	0		0.0536	0.403	0.139	-
Rasio Genetik	1.000	0.000	0.000	0		0.0969	0.446	0.217	1
Ragam fenotip	0.546	0.243	0.101	0.096	0.310	0.8914	2.478	4.5×10^{-5}	0.044
H^2_{ns}	0.095	0.000	0.000	0	0.000	0.0163	0.021	0.096	0.046
H^2_{bs}	0.095	0.041	0.029	0.034	0.000	0.1678	0.047	0.442	0.046

Keterangan : Angka yang diikuti tanda * = berpengaruh nyata pada $\alpha 5\%$, ** = berpengaruh nyata pada $\alpha 1\%$ berdasarkan Analisis Ragam Gabungan Metode Griffing II, DGU = daya gabung umum, DGK = daya gabung khusus, H^2_{ns} = heritabilitas arti sempit, H^2_{bs} = heritabilitas arti luas, JAL = jumlah akar lateral, BKAk = bobot kering akar, BKTj = bobot kering tajuk, JCab = jumlah cabang, Pakar = panjang akar, RAT = rasio akar tajuk, JBh = jumlah buah, BBh = bobot buah

Hasil analisis ragam dari masing-masing karakter pada lingkungan dengan pengairan terbatas menunjukkan terdapat ragam DGU yang nyata (taraf nyata 5%) pada karakter jumlah akar lateral dan ragam DGK yang nyata pada karakter berat kering akar, jumlah buah dan berat buah (Tabel 19).

Tabel 19 Nilai duga ragam DGU, DGK, galat, aditif, dominan, rasio ragam aditif-dominan, rasio genetik, ragam fenotip, heritabilitas arti sempit dan heritabilitas arti luas dari masing-masing karakter cabai pada lingkungan dengan pengairan terbatas

Parameter Genetik	JAL	BKAk	BKTj	Jcab	Pakar	RAT	JBh	BBh
Ragam DGU	33.426*	0.000	0.000	4.410	1.426	0.000	0.000	1.816
Ragam DGK	0.000	0.102*	0.143	0.000	1.856	0.001	0.002*	28.194*
Ragam galat	423.724	0.180	3.234	121.210	23.516	0.005	0.005	71.574
Ragam Aditif	66.852	0.000	0.000	8.821	2.853	0.001	0.000	3.633
Ragam dominan	0.000	0.102	0.143	0.000	1.856	0.001	0.002	28.194
Rasio DGU-DGK	0.000	0.000	0.000	0.000	0.768	0.248	0.147	0.064
Rasio Genetik	1.000	0.000	0.000	1.000	0.606	0.331	0.227	0.114
Ragam fenotip	490.576	0.282	3.377	130.030	28.225	0.007	0.007	103.401
H^2_{ns}	0.136	0.000	0.000	0.068	0.101	0.081	0.061	0.035
H^2_{bs}	0.136	0.362	0.042	0.068	0.167	0.244	0.268	0.308

Keterangan: Angka yang diikuti tanda * = berpengaruh nyata pada $\alpha 5\%$, ** = berpengaruh nyata pada $\alpha 1\%$ berdasarkan Analisis Ragam Gabungan Metode Griffing II, DGU = daya gabung umum, DGK = daya gabung khusus, H^2_{ns} = heritabilitas arti sempit, H^2_{bs} = heritabilitas arti luas, JAL = jumlah akar lateral, BKAk = bobot kering akar, BKTj = bobot kering tajuk, JCab = jumlah cabang, Pakar = panjang akar, RAT = rasio akar tajuk, JBh = jumlah buah, BBh = bobot buah



5.5.2 Analisis Daya Gabung

Daya gabung merupakan ukuran kemampuan suatu galur atau tetua yang bila disilangkan dengan galur lain akan menghasilkan hibrida dengan penampilan superior. Nilai masing-masing galur terletak pada kemampuannya untuk menghasilkan keturunan unggul bila dikombinasikan dengan galur-galur lain (Allard 1960).

5.5.2.1 Analisis Daya Gabung Umum

Daya gabung umum (DGU) adalah nilai rata-rata dari galur-galur dalam seluruh kombinasi persilangan bila disilangkan dengan galur-galur lain. Daya gabung umum yang besar menunjukkan tetua atau galur yang bersangkutan mempunyai kemampuan bergabung dengan semua tetua. Nilai DGU yang rendah menunjukkan bahwa tetua atau galur tersebut mempunyai kemampuan bergabung yang kurang baik terhadap semua tetua lainnya. Nilai daya gabung umum adalah simpangan dari rata-rata seluruh persilangan, sehingga daya gabung umum dapat bernilai positif atau negatif. Nilai daya gabung umum yang negatif menunjukkan bahwa galur tetua maupun kombinasi persilangan yang diuji berkontribusi terhadap penurunan keragaan karakter dan sebaliknya.

Berdasarkan analisis data, pada kondisi pengairan terbatas (C) pengaruh nyata DGU terlihat pada karakter panjang akar, rasio akar tajuk, jumlah buah dan bobot buah (Tabel 20). Tetua IPB C7 merupakan tetua dengan nilai DGU terbaik pada karakter panjang akar (1.630), rasio akar tajuk (0.036) dan jumlah buah (0.037) pada kondisi penyiraman terbatas. Tetua dengan nilai DGU terbaik untuk karakter bobot buah pada kondisi penyiraman terbatas adalah Seloka (5.16).

Pengaruh nyata DGU berdasarkan nilai ISK hanya terlihat pada karakter jumlah buah (Tabel 20). Tetua dengan daya gabung umum terbaik berdasarkan nilai ISK untuk karakter jumlah buah adalah IPB C7 (-0.003).

5.5.2.2 Analisis Daya Gabung Khusus

Daya gabung khusus (DGK) adalah penampilan kombinasi pasangan persilangan tertentu. Nilai pasangan persilangan tertentu yang lebih baik daripada nilai rata-rata keseluruhan persilangan yang terlibat, maka dapat dikatakan memiliki daya gabung khusus yang baik (Poehlman dan Sleeper 1990). Daya gabung khusus yang diperoleh dari suatu persilangan antar kedua tetua dapat memberikan informasi tentang kombinasi-kombinasi yang dapat memberikan turunan yang berpotensi baik pada karakter yang dituju. Galur yang mempunyai efek daya gabung umum yang tinggi tidak selalu memberikan efek daya gabung khusus yang tinggi (Silitonga 1993). Nilai DGK yang positif menunjukkan genotipe tersebut mempunyai nilai DGK yang baik dan semakin tinggi nilai DGK maka kemampuan suatu tetua untuk bergabung dengan tetua lain tersebut semakin baik juga. Nilai DGK yang negatif menunjukkan bahwa galur tetua maupun kombinasi persilangan yang diuji berkontribusi terhadap penurunan keragaan karakter dan sebaliknya.

Pengaruh nyata DGK berdasar nilai ISK hanya terlihat pada karakter rasio akar tajuk dan jumlah buah (Tabel 21). DGK terbaik berdasarkan nilai ISK untuk karakter rasio akar tajuk dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-10 x Seloka (-0.92), sedangkan nilai DGK terbaik untuk karakter jumlah buah berdasarkan nilai ISK dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-10 x IPB C-8 (-0.014).



Pengaruh nyata DGK pada kondisi pengairan terbatas terlihat pada karakter berat kering akar, jumlah cabang, rasio akar tajuk, jumlah buah dan berat buah (Tabel 21). Nilai DGK terbaik untuk karakter berat kering akar (0.77) dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-10 x IPB C-7, nilai DGK terbaik untuk jumlah cabang (14.09) dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-18 x SSP, nilai DGK terbaik untuk karakter rasio akar tajuk (0.10) dan jumlah buah (0.11) dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-8 x Seloka, dan nilai DGK terbaik untuk karakter karakter bobot buah (18.08) dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-10 x Seloka (Tabel 20).

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa persilangan antara galur yang memiliki DGU positif dengan galur yang memiliki DGU negatif, umumnya memberikan efek DGK yang tinggi untuk beberapa karakter penting (Pradhan *et al.*, 2005; El Badawy 2013; Arisandy 2018). Kombinasi persilangan antara tetua dengan nilai DGU tinggi x DGU rendah atau DGU sedang x DGU rendah menunjukkan aksi gen aditif dan dominan sedangkan persilangan dengan nilai DGU rendah x DGU rendah menunjukkan aksi gen epistasis (Pradhan *et al.* 2005). Menurut Sujiprihati (1996), informasi genetik yang diperoleh dari pengujian DGU dan DGK sangat berguna dalam menentukan tetua dan metode pemuliaan yang sesuai dalam rangka perbaikan sifat-sifat tanaman. Nilai duga DGK sebagai indikator adanya efek gen dominan dan epistasis sedangkan DGU mengindikasikan efek gen aditif.

Keterangannya : angka yang diikuti tanda * = berpengaruh nyata pada $\alpha = 5\%$, **= berpengaruh nyata pada $\alpha = 1\%$ berdasar uji Daya Gabung umum metode Griffing II.

Abel2 Silai duga daya gabung khusus (DGK) karakter jumlah akar lateral, jumlah cabang, berat kering tajuk, rasio akar-tajuk, jumlah buah per tanaman cabai berdasarkan nilai indeks sensitivitas kekeringan masing-masing peubah dan nilai karakter pada kondisi pengairan terbatas menggunakan metoda Griffing II

No	Kombinasi persilangan	Jumlah akar lateral		Berat kering akar		Berat kering tajuk		Jumlah cabang		Panjang akar		Ratio akar tajuk		Jumlah buah		Berat buah	
		ISK	C	ISK	C	ISK	C	ISK	C	ISK	C	ISK	C	ISK	C	ISK	C
1	IPB C-10 x IPB C7	0.43	9.65	-0.18	0.77*	-0.08	0.75	-0.33	2.78	1.00	-5.29	-0.14	0.09*	0.001	0.08*	0.08	-1.17
2	IPB C-10 x IPB C-8	0.03	-11.21	0.18	-0.15	0.11	-0.43	0.21	5.25	-0.17	-0.15	0.18	-0.02	-0.014***	-0.01	0.01	-12.59*
3	IPB C-10 X IPB C-18	-0.42	-0.18	0.37	-0.24	0.16	-0.17	0.05	5.74	-0.35	1.95	-0.56	-0.05	-0.001	-0.05	-0.19	1.15
4	IPB C-10 x SSP	0.36	-8.14	-0.48	0.16	-0.26	0.44	-0.54	-1.12	0.05	1.96	-0.13	0.01	0.001	0.01	-0.03	1.21
5	IPB C-10 x Seloka	0.44	-11.66	0.39	-0.59*	0.22	-1.32	0.27	-4.04	0.27	-1.83	-0.92	-0.04	0.004	-0.04	-0.11	18.08***
6	IPB C-7x IPB C-8	0.08	-3.16	0.15	-0.23	0.20	-1.45	0.00	-3.66	-0.32	-0.04	0.20	0.04	-0.001	0.04	0.13	-5.33
7	IPB C-7 X IPB C-18	0.27	-7.31	-0.28	0.36	-0.08	0.49	-0.08	4.99	0.05	3.65	0.15	0.02	-0.006*	0.02	0.04	-0.25
8	IPB C-7x SSP	-0.22	-12.27	-0.13	-0.04	-0.07	0.86	-0.14	-5.04	0.56	-4.17	0.31	-0.04	0.000	-0.04	-0.03	2.79
9	IPB C-7 x Seloka	-0.13	1.04	0.20	-0.12	0.02	0.76	0.12	0.55	0.41	-1.47	-0.61	-0.07	0.003	-0.07	0.07	-2.3
10	IPB C-8 x IPB C-18	0.24	-8.5	0.02	0.09	0.11	-0.83	0.01	-6.21	0.34	-5.05	-0.07	0.04	0.001	0.05	-0.00	3.64
11	IPB C-8 x SSP	-0.30	14.71	-0.11	0.29	0.09	0.35	0.10	-2.73	-0.08	1.54	0.58	0.03	0.001	0.04	-0.04	2.25
12	IPB C-8 x Seloka	-0.47	4.86	-0.51	0.4	0.13	-0.26	-0.08	5.86	-0.35	1.09	2.54***	0.10*	-0.002	0.11*	-0.18	9.47*
13	IPB C-18 x SSP	0.00	10.07	-0.04	0.47*	-0.11	1.4	-0.18	14.09*	1.12	-3.6	-0.29	0.01	0.003	0.01	0.07	0.19
14	IPB C-18 x Seloka	-0.21	-9.46	0.24	-0.42	0.19	-1.65	0.35	-10.49	-0.37	2.61	0.37	0	0.000	0	0.03	-1.41
15	SSP x Seloka	0.07	2.42	0.12	-0.06	0.05	0.07	0.27	1.32	0.35	-0.72	-0.26	-0.02	0.001	-0.02	0.09	-5.32

Keterangan : angka yang diikuti tanda * = berpengaruh nyata pada $\alpha=5\%$, ** = berpengaruh nyata pada $\alpha=1\%$ berdasar uji Daya Gabung umum metode Griffing II,,
 ISK = indeks sensitivitas kekeringan, C = lingkungan dengan pengairan terbatas



Nilai DG delapan karakter yang diamati berdasarkan ISK mayoritas tidak berbeda nyata, sedangkan nilai DG pada kondisi pengairan terbatas menunjukkan adanya pengaruh nyata yang lebih banyak sehingga proses seleksi dalam menentukan tetua cukup dilakukan pada kondisi pengairan terbatas. Berdasarkan karakter Panjang akar, rasio akar tajuk dan jumlah buah pada kondisi pengairan terbatas, genotipe IPB C-7 merupakan genotipe yang direkomendasikan untuk digunakan sebagai tetua dalam pembentukan varietas non-hibrida, karena menunjukkan nilai DGU tertinggi. Berdasarkan karakter berat buah pada kondisi pengairan terbatas, Seloka merupakan genotipe yang direkomendasikan untuk digunakan.

5.6 Simpulan

Analisis parameter genetik berdasarkan nilai ISK, memperlihatkan adanya pengaruh ragam aditif yang lebih besar dari ragam dominan pada karakter jumlah akar lateral, serta adanya pengaruh ragam dominan yang lebih besar dari ragam aditif pada karakter jumlah buah. Pada kondisi pengairan terbatas, pengaruh nyata ragam aditif hanya terlihat pada jumlah akar lateral, dan pengaruh nyata ragam dominan terlihat pada karakter berat kering akar, jumlah buah dan bobot buah.

Nilai DGU berdasar nilai ISK memiliki pengaruh nyata pada karakter jumlah buah, dengan genotipe IPB C-7 sebagai tetua yang memiliki DGU terbaik. Nilai DGU pada kondisi pengairan terbatas menunjukkan pengaruh nyata pada karakter panjang akar, rasio akar tajuk, jumlah buah dan bobot buah. Nilai DGU terbaik untuk karakter panjang akar, rasio akar tajuk dan jumlah buah dimiliki oleh genotipe IPB C-7. Sedangkan nilai DGU terbaik untuk karakter bobot buah dimiliki oleh genotipe Seloka.

Berdasarkan nilai ISK, kombinasi persilangan IPB C-10 x Seloka memiliki nilai DGK terbaik untuk karakter rasio akar tajuk sedangkan kombinasi persilangan IPB C-10 x IPB C-8 memiliki nilai DGK terbaik untuk karakter jumlah buah.

Dalam kondisi pengairan terbatas, kombinasi persilangan IPB C-10 x IPB C-7 menunjukkan nilai DGK terbaik untuk karakter berat kering akar, kombinasi persilangan IPB C-18 x SSP memiliki nilai DGK terbaik untuk karakter jumlah cabang, kombinasi persilangan IPB C-8 x Seloka memiliki nilai DGK terbaik untuk karakter rasio akar tajuk dan jumlah buah, dan kombinasi persilangan IPB C-10 x Seloka menunjukkan nilai DGK terbaik untuk karakter bobot buah.

Nilai DG delapan karakter yang diamati berdasarkan ISK mayoritas tidak berbeda nyata, sedangkan nilai DG pada kondisi pengairan terbatas menunjukkan adanya pengaruh nyata yang lebih banyak sehingga proses seleksi dalam menentukan tetua cukup dilakukan pada kondisi pengairan terbatas.



©Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



VI EVALUASI PROFIL METABOLOMIK TOLERANSI TANAMAN CABAI TERHADAP PENGAIRAN TERBATAS

6.1 Abstract

Water shortage due to competition from the various sector, global warming, and climate change leading to less-irrigated field occurred is serious now and future problems for all cultivated plants involving chili pepper. In the situation drought stress give high and significant effect on reducing plant production as a result of alteration in metabolite homeostasis in vegetative tissues. To reveal metabolomic alteration on chili pepper to the stress as main objective of the study, three *capsicum* genotypes with different tolerance levels to less irrigation condition compared to normal condition were evaluated. Leaves extract of three different chili genotypes grown in less irrigation and normal conditions were analysed with Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry (GC-MS) to reveal profiling of their volatile compounds. Based on principal component analysis (PCA), ten metabolites i.e: Neophytadiene, Linolenic acid-ethyl ester, Linolenic acid, gamma-sitosterol, phytol, Alpha Tocopherol, squalene, i-Propyl 7,10,13,16, 19-docosapentaenoate, ERGOST-5-EN-3-OL and Bicyclo [10.1.0] tridec-1-ene were known contributing to the existence of diversities in the three genotype. Under hierarchical cluster analyses (HCA) from the ten metabolite compounds, there were only four important metabolites of linolenic acid, gamma-sitosterol, alpha-tocopherol, and squalane revealing differences between less than normal irrigation plants. In the less irrigated plants, lowering linolenic acid and increasing gamma-sitosterol, alpha-tocopherol and squalene were expressed to response the drought stress. Tolerance chilli plants to the stress were affected by their capacity to reduce the linolenic acid degradation and to increase gamma sitosterol, alpha-tocopherol and squalane accumulation.

6.2 Abstrak

Kekurangan air karena persaingan dari berbagai sektor, pemanasan global, dan perubahan iklim yang mengarah ke lahan yang kurang beririgasi terjadi saat ini dan akan menjadi masalah di masa depan untuk semua tanaman budidaya, termasuk cabai. Dalam situasi ini, kekurangan air memberikan pengaruh tinggi dan signifikan terhadap pengurangan produksi tanaman sebagai akibat dari perubahan homeostasis metabolit dalam jaringan vegetatif. Tiga genotipe cabai (*Capsicum annuum* L.) dengan tingkat toleransi yang berbeda terhadap cekaman pengairan terbatas, ditanam pada kondisi kurang irigasi dan irigasi normal dan dievaluasi untuk mengungkap perubahan metaboliknya. Ekstrak daun dari tiga genotipe cabai yang berbeda yang tumbuh pada kondisi irigasi yang kurang dan kondisi normal dianalisis dengan Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry (GC-MS) untuk mengungkapkan profil senyawa volatil mereka. Berdasarkan analisis komponen utama (PCA), sepuluh metabolit yaitu: Neophytadiene, ester-ethyl asam Linolenat, asam Linolenat, gamma-sitosterol, fitol, Alpha Tokoferol, squalene, i-Propyl 7,10,13,16,19-docosapentaenoate, ERGOST -5-EN-3-OL dan Bicyclo [10.1.0] tridec-1-ene diketahui berkontribusi terhadap keragaman dalam tiga genotipe. Hasil analisis HCA dari sepuluh senyawa metabolit tersebut, terlihat

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak mengulang kepentingan yang wajar IPB University.

adanya empat metabolit penting yaitu asam linolenat, gamma-sitosterol, alpha-tocopherol dan squalene yang mengungkapkan perbedaan antara tanaman cabai dibawah kondisi normal dan kurang irigasi. Pada tanaman yang kurang irigasi, tampak terjadi ekspresi berupa penurunan asam linolenat serta peningkatan gamma-sitosterol, alfa-tokoferol dan squalan sebagai respon terhadap stres kekeringan. Toleransi tanaman cabai terhadap stres dipengaruhi oleh kemampuannya untuk mengurangi degradasi asam linolenat serta untuk meningkatkan akumulasi gamma sitosterol, alfa-tokoferol dan squalan.

6.3 Pendahuluan

6.3.1 Latar Belakang

Cabai (*Capsicum annuum* L.) merupakan salah satu komoditi hortikultura yang sangat penting dan bernilai ekonomis tinggi di Indonesia. Nilai ekonomis yang tinggi, tidak diikuti dengan produksi yang kontinyu dan tinggi. Produksi cabai nasional tergolong masih rendah dan tidak stabil. Ketidak stabilan produksi ini antara lain disebabkan oleh luasan areal pertanaman cabai yang selalu berubah-ubah serta produktivitas tanaman yang masih rendah akibat kondisi lingkungan tumbuh yang berubah. Pemanfaatan lahan kering untuk budidaya tanaman cabai menjadi salah satu alternatif yang dapat ditempuh untuk meningkatkan produksi cabai. Indonesia memiliki potensi lahan kering yang sangat besar, yaitu Sekitar 78% luas daratan Indonesia atau seluas 148 juta ha. Produksi tanaman pangan dan hortikultura semusim di lahan kering terutama di luar pulau Jawa masih rendah akibat kendala biofisik lahan serta masalah kekurangan air atau kekeringan.

Cekaman kekeringan mempengaruhi proses fisiologis, biokimia dan molekuler, seperti fotosintesis, respirasi, translokasi, dan metabolisme. Cekaman kekeringan mempengaruhi tanaman dengan mengganggu homeostasis metabolismik, menyebabkan perubahan yang signifikan dalam komposisi kimia tanaman yang diakibatkan oleh penyesuaian lintasan metabolisme untuk aklimatisasi atau adaptasi.

Studi metabolismik telah memberikan kontribusi yang signifikan untuk mempelajari dan memahami cekaman pada tumbuhan secara biologi dengan mengidentifikasi senyawa yang berbeda sebagai respons terhadap lingkungannya dan bagian yang mereka mainkan sebagai respon toleransi. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh cekaman kekeringan terhadap komposisi metabolit tiga genotipe cabai yang berbeda. Cabai (*Capsicum annuum* L.) adalah salah satu komoditas penting dan strategis di Indonesia yang memberikan pengaruh signifikan terhadap inflasi dan perekonomian Indonesia yang dinamis. Di satu sisi, nilai ekonomi yang tinggi diperlihatkan oleh total area budidaya cabai yang mencapai 308.547 ha dengan provinsi Jawa Tengah, Jawa Barat dan Jawa Timur sebagai area budidaya utama (Statistik Indonesia 2019a); 2.5 juta ton total produksi 2018 (Statistik Indonesia 2019b); 7.78 ton / ha produktivitas (Statistik Indonesia 2019c) dan harga dinamis tinggi dari Rp4.000 hingga 120.000 per kg (Damayanti dan Yolanda 2019). Di sisi lain, Kompas (2018) menerbitkan bahwa indeks inflasi harga konsumen pada Maret 2018 adalah 0.20% disebabkan oleh *administered prices* dan *volatile food*. Nilai inflasi lebih tinggi dari nilai sebelumnya 0.15% pada bulan-bulan yang sama pada 2017 di mana 0.15 poin dipengaruhi secara signifikan oleh harga *volatile goods*. Terdapat masalah besar



yang dihadapi dalam menjaga dan mempertahankan produktivitas tanaman agar tetap tinggi, terutama di musim kemarau karena tekanan kekeringan yang terjadi selama penanaman tanaman. Untuk tanaman cabai yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap cekaman, kondisi kekeringan umumnya menurunkan produksi tanaman secara drastis.

Dalam aspek budidaya, tanaman cabai adalah tanaman yang membutuhkan banyak air untuk pertumbuhannya dan peka terhadap praktik irigasi (Abdul-Ganiyu *et al.*, 2012). Kekurangan air dalam tanaman dapat menyebabkan kekeringan yang menyebabkan hilangnya hasil yang sangat signifikan (Gençoğlan *et al.*, 2006; Demirtas dan Ayas, 2009). Cekaman kekeringan umumnya memengaruhi proses fisiologis, biokimiawi, dan molekuler seperti fotosintesis, pernapasan, translokasi, dan metabolisme (Pandey dan Shukla, 2015). Cekaman mengganggu homeostasis metabolit dan menyebabkan perubahan komposisi kimia yang signifikan pada tanaman yang memerlukan penyesuaian temporal dari jalur metabolisme (Azadeh *et al.*, 2014), termasuk karbohidrat, asam amino, dan metabolisme peptida (Huang dan Gao, 2000) dan mengubah profil metabolomik jaringan daun (*source/penyuplai*) yang dapat mengurangi potensi hasil (*sink/penyimpanan*). Pengungkapan profil metabolisme cabai, terutama dalam penentuan tingkat toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan adalah informasi yang sangat penting dalam program pemuliaan tanaman cabai.

6.3.2 Tujuan Penelitian

1. Melihat pengaruh cekaman kekeringan terhadap komposisi senyawa metabolit tiga genotipe cabai hasil seleksi yang menunjukkan tingkat toleransi berbeda terhadap cekaman kekeringan.
2. Mendapatkan informasi metabolit penanda sebagai karakter seleksi dalam penyeleksian dini genotipe cabai toleran terhadap cekaman kekeringan.

6.4 Metode Penelitian

6.4.1 Waktu dan Tempat

Percobaan evaluasi profil metabolomik toleransi tanaman cabai terhadap cekaman kekeringan dilakukan pada bulan September 2017-Januari 2018 di rumah kaca PKHT-IPB, Tajur, Bogor. Analisis metabolomik dilakukan di Laboratorium Kesehatan Daerah Provinsi DKI Jakarta.

6.4.2 Bahan dan Alat

Bahan genetik yang digunakan adalah genotip Gada MK F1, SSP dan C10 yang merupakan koleksi Laboratorium Pendidikan Genetika dan Pemuliaan Tanaman, IPB (Gambar 10). Pemilihan genotipe didasarkan pada pengelompokan tingkat toleransi oleh Fischer dan Maurer (1978) pada karakter kecambah, morfologi dan hasil. Gada MK F1 dan SSP mewakili genotipe toleran dan agak toleran, sedangkan C10 mewakili genotipe peka.

Analisis metabolomik dilakukan menggunakan sistem *agilent Technologies 7890 GC with Auto Sampler* dan *5975 Mass Selective Detector and Chemstation data*, yang dilengkapi dengan kolom kapiler HP Ultra 2 (30 m x 0,20 mm, I.D x 0,11 μ m Film Thickness).



**Gada MK
(toleran)**



**C10
(peka)**



**SSP
(toleran)**

Gambar 10 Genotipe cabai (*Capsicum annuum* L.) yang digunakan dalam percobaan analisis metabolomik

6.4.3 Metodologi

Benih dari 3 genotipe cabai disemai pada nampan semai dan bibit dipindah tanam setelah 4 minggu perkecambahan secara bersamaan. Irigasi normal dipertahankan sebelum dan 3 minggu setelah pindah tanam untuk menjaga kelembaban tanah pada kapasitas lapang lebih dari 90%. Bibit (satu tanaman per pot) ditanam dalam pot berdiameter 30 cm yang berisi media pertumbuhan.

Percobaan terdiri dari dua perlakuan yaitu: irigasi penuh (sebagai kontrol) dan kurang irigasi (kekeringan). Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap dengan 3 ulangan. Perlakuan kekeringan dimulai pada tiga minggu setelah pindah tanam, diterapkan dengan cara menghentikan irigasi dalam 7 hari. Pengukuran kelembaban tanah dilakukan setiap hari menggunakan sensor kelembaban tanah berdasarkan impedansi listrik, dan kelembaban media dipertahankan pada kisaran 52-58% kapasitas lapangan.

6.4.4 Pelaksanaan

Sampel diambil dari setiap perlakuan satu minggu setelah penerapan perlakuan (empat minggu setelah pindah tanam atau pada akhir periode vegetatif). Daun segar (10 g) dari masing-masing perlakuan diiris menjadi potongan-potongan kecil dan diekstraksi dengan etanol pro-analisis (50 mL) kemudian dimaserasi selama sekitar lima hari dalam wadah tertutup pada suhu kamar. Setelah maserasi, 10 ml ekstrak dituangkan ke dalam tabung dan kemudian dikeringkan pada 60 °C selama 1 jam. Setelah pengeringan, ekstrak dilarutkan lagi dengan sisa ekstrak 200 µL dan digunakan sebagai sampel dalam analisis GC-MS.

6.4.5 Pengamatan

Setiap komponen metabolit diidentifikasi dengan mencocokkan spektrum massa yang direkam dari sistem data GC-MS. Komponen metabolit diidentifikasi dengan nama senyawa, rumus molekul, dan berat molekul menggunakan perbandingan spektrum puncak dalam basis data Wiley dan PubChem.



Data dianalisis secara statistik menggunakan paket R (Xia dan Wishart, 2016). *Principal Component Analyses* (PCA) digunakan untuk menentukan metabolit yang paling berkontribusi pada keragaman. *Heatmap Component Analyses* (HCA) dilakukan untuk menilai hubungan antara genotipe cabai dalam menanggapi kondisi normal dan kekeringan. Analisis Ragam dan Uji t-student dilakukan terhadap senyawa metabolit yang memperlihatkan perbedaan di antara perlakuan penyiraman.

Uji korelasi pearson dilakukan terhadap nilai indeks sensitivitas kekeringan masing-masing peubah untuk melihat hubungan antara peubah metabolit dengan peubah kecambah, vegetatif dan hasil.

6.5 Hasil dan Pembahasan

6.5.1 Hasil

Delapan puluh tiga (83) senyawa volatil teridentifikasi dari tiga genotip cabai yang dipelihara di bawah kondisi normal dan kekeringan (Tabel 21). Berdasarkan analisis komponen utama (PCA), diketahui terdapat dua puluh (20) metabolit yang berkontribusi paling besar dalam membentuk keanekaragaman (Gambar 11 dan 12). Dari 20 metabolit tersebut, hanya 10 metabolit yang dapat membedakan genotipe berdasarkan perlakuan yang diterapkan, yaitu: neophytadiene, ester-etil asam linolenat, asam linolenat, gamma-sitosterol, phytol, Alpha tocopherol, squalene, i-Propyl 7,10,13,16,19-docosapentaenoate, ergost-5-en-3-ol dan Bicyclo [10.1.0] tridec-1-ene (Gambar 13).

Analisis hirarki kluster (HCA) dari sepuluh metabolit (Gambar 13.) menunjukkan bahwa terdapat konsentrasi yang berbeda dari masing-masing metabolit dalam sampel daun cabai yang tumbuh di bawah kondisi normal (pengairan cukup) dibandingkan dengan sampel daun yang tumbuh di bawah kondisi tercekan (pengairan terbatas). Hasil HCA ini kemudian dikonfirmasi dengan uji T-student dan analisis ragam pada level 5%.

Uji T-student sepuluh metabolit memperlihatkan adanya perbedaan konsentrasi yang nyata pada kandungan asam linolenat (M5), gamma-sitosterol (M9), alpha-tocopherol (M15) dan squalene (M25) (Tabel 22). Uji T-Student menunjukkan rata-rata cabai yang tumbuh dalam kondisi pengairan terbatas mengalami penurunan kadar asam linolenat dan mengalami peningkatan gamma-sitosterol, alfa-tokoferol dan squalane dibandingkan dengan cabai yang tumbuh pada kondisi normal (Gambar 14).

Hasil analisis ragam terhadap keempat metabolit tersebut memperlihatkan adanya interaksi antara genotipe dengan kondisi pengairan pada kandungan metabolit squalene dan Alfa-tokoferol (Tabel 23). Analisis lebih lanjut pada kandungan keempat metabolit tersebut pada masing-masing genotipe memperlihatkan hasil bahwa pada kondisi lingkungan pengairan yang cukup, kandungan asam linolenat tertinggi tercatat pada genotipe C10 sebagai genotipe peka (34.9%) dan menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan Gada (26.3%) dan SSP (24.1%) sebagai genotipe toleran (Gambar 15a). Kandungan alfa-tokoferol tertinggi selama kondisi normal juga diekspresikan oleh genotip C10 (2.0%), tetapi tidak ada perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan genotipe Gada (0.6%) dan SSP (1.2%) (Gambar 15b), kandungan gamma sitosterol terendah dalam kondisi normal tercatat pada genotipe C10 (1.2%) dan

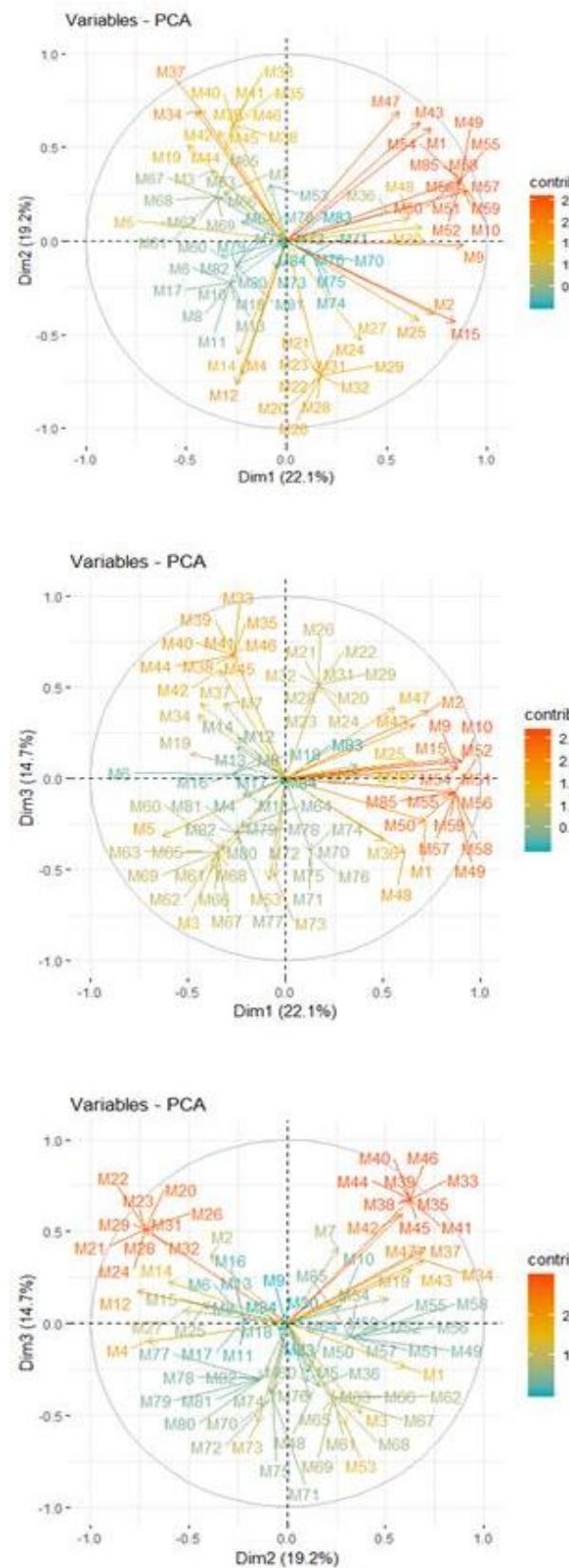
menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan Gada (1.4%) dan SSP (1.9%) sebagai genotipe toleran (Gambar 15c), sedangkan kandungan squalene pada kondisi normal untuk genotipe toleran (Gada dan SSP) cenderung rendah bahkan tidak terdeteksi (0% dan 0.3%) dan nilainya berbeda nyata dengan kandungan squalene pada genotipe peka (0.83%) (Gambar 15d).

Genotipe peka (C10) mengalami penurunan kandungan asam linolenat (-14%) yang signifikan, dengan sedikit peningkatan konten alfa-tokoferol (1.6%) dan gamma-sitosterol (1.2%) pada kondisi stres kekeringan, sedangkan genotipe toleran (SSP dan Gada MK) mengalami penurunan kadar asam linolenat (-6.4 dan -4.6%, berturut-turut) yang tidak signifikan, mengalami peningkatan kandungan alfa-tokoferol (3.7 dan 3.9%) dan gamma-sitosterol (1.8 dan 1.6%) yang signifikan (Tabel 25).

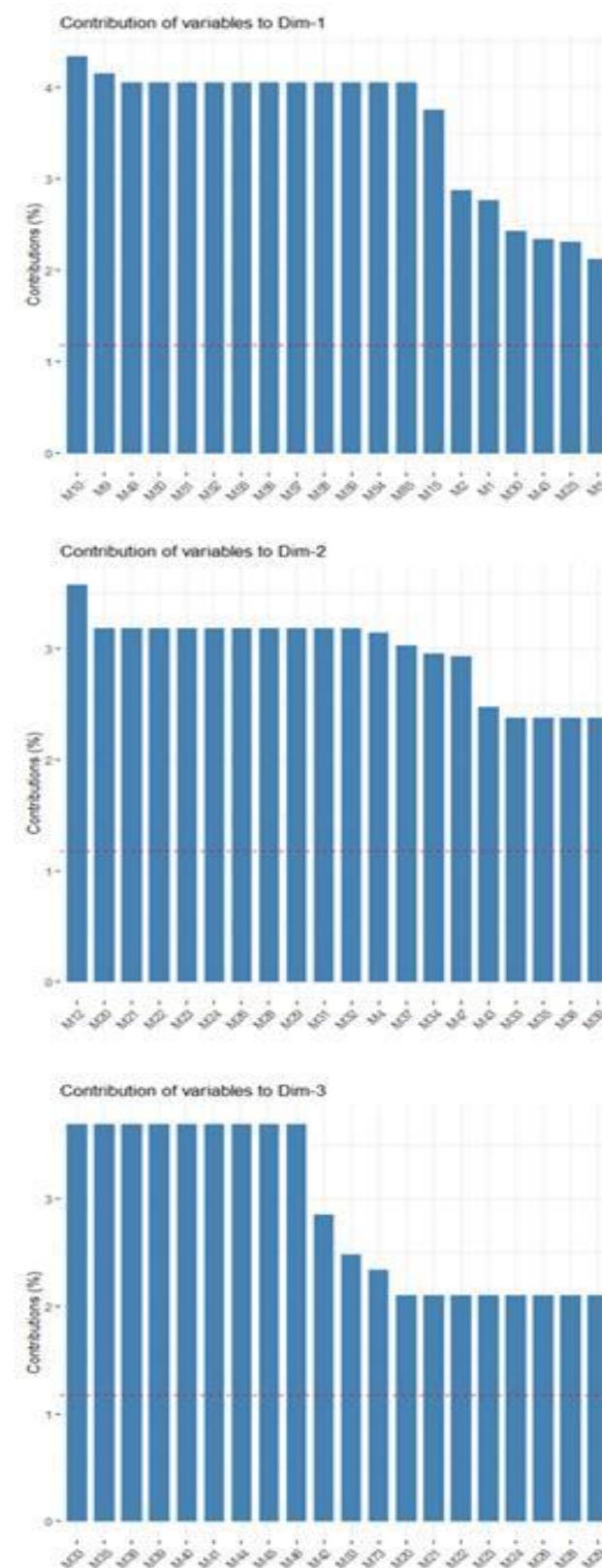
Analisis korelasi antara karakter metabolomik dengan karakter kecambah, karakter vegetative dan karakter hasil memperlihatkan adanya korelasi yang sangat nyata dan positif antara karakter metabolit alfa-tokoferol dan squalene dengan karakter daya berkecambah dan berkorelasi nyata dan positif dengan karakter bobot buah (Tabel 24).

6.5.2 Pembahasan

Penelitian ini berhasil mengungkapkan bukti bahwa perbedaan pertumbuhan cabai dalam kondisi normal dan tercekam kekeringan mengarah pada profil senyawa metabolit yang berbeda. Semua sampel cabai yang tumbuh dibawah kondisi kekeringan menunjukkan penurunan asam linolenat dan peningkatan kadar alfa-tokoferol, gamma-sitosterol daan squalane. Hasil penelitian ini sesuai dengan temuan penelitian lain yang telah melaporkan penurunan kadar asam linolenat (Pham Thi *et al.*, 1987; Pham Thi *et al.*, 1990; Repellin *et al.*, 1997), peningkatan kandungan fitosterol (Kumar *et al.*, 2015), dan peningkatan konten alfa-tokoferol (Tanaka *et al.*, 1990; Moran *et al.*, 1994; Price *et al.*, 1989; Bartoli *et al.*, 1999; Munn'e-Bosch *et al.*, 1999; Munn'e-Bosch dan Alegre, 2001) dalam respon tanaman terhadap stres kekeringan.



Gambar 11 Biplot 83 metabolit cabai pada KU1, KU2 dan KU3



Gambar 12 Grafik persen kontribusi metabolit cabai dalam membentuk keragaman pada KU1, KU2 dan KU3

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 22 Konsentrasi senyawa volatil dalam daun tiga genotipe cabai pada kondisi normal dan kekeringan

No	Label	Senyawa	Formula molekul	Berat molekul (g/mol)	Waktu retensi	Kandungan metabolit (%)				Kondisi kekeringan		
						Kondisi normal			Gada MK		Cada MK	
						SSP	C10	SSP	C10	SSP	C10	
1	M1	Neophytadiene	C20H38	278.52	27.37	8.35	9.05	4.28	16.79	10.71	8.27	
2	M65	6,10-DIMETHYL-9-UNDECEN-2-ONE	C13H24O	196.33	27.42	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0	
3	M77	1-Hexadecyne	C16H30	222.42	27.46	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	0	
4	M16	6-Tetradecyne	C14H26	194.36	27.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	
5	M66	1,E,8,Z,10-TRIDECATRIENE	C13H22	178.32	27.62	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0	
6	M17	1-Bromo-8-Heptadecyne	C17H31Br	315.34	27.79	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0	
7	M42	SCLARAL (SCLAREOLIDE LACTOL)	C16H28O2	252.40	28.08	6.08	0.00	1.67	0.00	0.00	0	
8	M62	2,2,7-Trimethyl-3-octyne	C11H20	152.28	28.09	0.00	3.93	0.00	0.00	0.00	0	
9	M18	alpha,-Selinene	C15H24	204.36	28.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	
10	M43	i-Propyl 7,10,13,16,19-docosapentaenoate			28.51	0.54	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	0
11	M74	1,5-Cyclododecadiene, (E,Z)-	C10H16	136.24	28.60	0.00	0.00	0.00	0.00	2.85	0	
12	M80	1-CYCLODODECYNE	C12H20	164.29	28.61	0.00	0.00	1.61	0.00	0.00	0	
13	M70	Acetamide, N-(IMIDAZOL-1-ylpropyl)-2-Methoxy	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH or C18H36O ₂	284.48	28.72	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94	0	
14	M26	Stearate	C16H32O ₂	256.43	28.78	8.24	9.83	11.58	6.44	8.33	7.24	
15	M3	Palmitic Acid	C16H33Cl	260.89	29.48	0.00	0.00	0.00	0.34	0.54	0	
16	M48	PALMITYL CHLORIDE	C14H28	196.38	29.48	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0	
17	M52	3-TETRADECENE	C12H24	168.32	29.48	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0	
18	M57	CYCLODODECANE	C20H40	280.54	29.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	
19	M83	Cyclohexadecane, 1,2-diethyl-	C20H40O	296.54	29.50	10.03	6.66	7.31	35.44	7.16	6.35	
20	M10	Phytol	C ₂₀ H ₄₀ O	296.53	29.54	0.00	0.00	0.00	0.00	6.78	0	
21	M75	Phytol Isomer			29.56	0.00	0.00	15.92	0.00	14.51	0	
22	M4	Benzyl (dideuterated) methyl Ether	C22H40	304.56	29.62	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0	
23	M39	Cyclodecacyclotetradecene, 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20-eicosahydro-	C ₁₀ H ₁₆	136,238	29.62	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0	
24	M44	1,4-Decatriene, (Z)-	C ₁₅ H ₂₂	234,334	29.63	0.00	0.34	1.67	0.00	0.00	0	
25	M60	6-[HYDROXYMETHYL]VINYLY-4,8A-DIMETHYL- 4A,5,6,7,8,8A-HEXAHYDRO-2(1H)-NAPHTHALENONE	C16H30O ₂	254.41	29.63	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0	
26	M63	1,2,15,16-Diethoxyhexadecane										



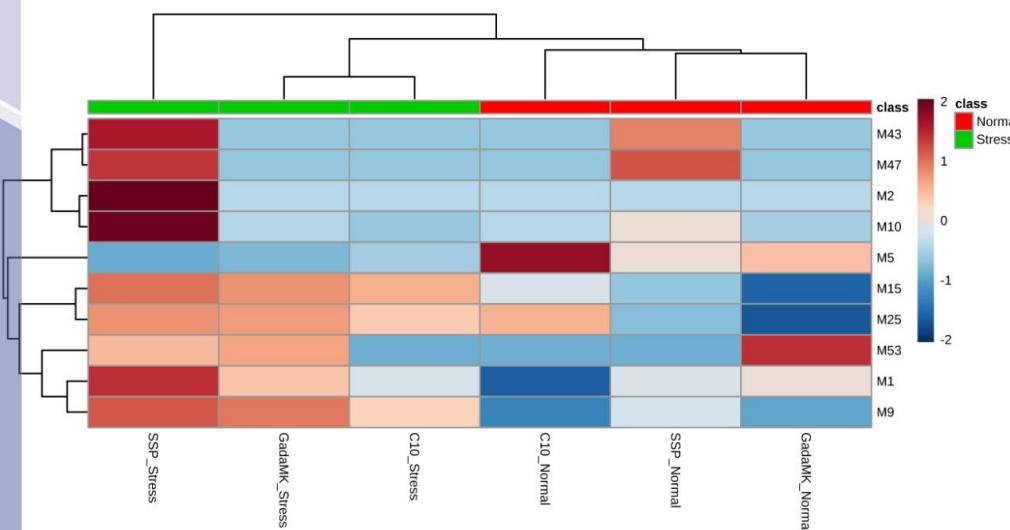
IPB University

Tabel 22 Konsentrasi senyawa volatil dalam daun tiga genotipe cabai pada kondisi normal dan kekeringan

No	Label	Senyawa	Formula molekul	Berat molekul (g/mol)	Waktu retensi	Kandungan metabolit (%)		
						SSP	Gada MK	C10
27	M81	2,5,8-HEPTADECATRIEN-1-OL	C18H32O2	280.45	29.64	0.00	0.50	0.00
28	M27	Linoleic Acid	C20H34O2	306.49	29.75	0.00	1.52	0.93
29	M2	Linolenic acid, ethyl ester	C18H30O2	278.44	29.79	0.00	0.00	3.95
30	M5	Linolenic acid	C13H22	178.32	30.01	0.00	4.72	19.47
31	M53	Bicyclo [10.1.0] tridec-1-ene	C18H30O2	278.44	30.01	4.08	2.60	1.21
32	M19	Methyl 8, 11, 14- heptadecatrienoate	C12H22	166.31	30.10	0.00	3.35	1.63
33	M78	6-Dodecenoic acid	C19H32O2	292.46	30.20	0.00	3.31	0.00
34	M61	i-propyl 16,9,12-hexadecatrienoate	C19H32O2	292.46	30.20	1.96	0.00	0.00
35	M82	OCTAHYDRO-2-NAPHTHALENEMETHANOL	C8H17N3O2S	219.30	30.34	0.00	0.00	1.31
36	M33	S-[2-(IN,N-Dimethylaminolethyl)n-dimethylaminol]thiocarboxylic acid	C17H32O	252.44	30.39	1.46	0.00	0.00
37	M68	14-METHYL-8-HEXADECYN-1-OL	C10H16O	152.24	30.40	0.00	0.99	0.00
38	M76	LABDA-8(17), 13E-DIEN-15-AL	C10H16O	152.24	30.41	0.00	0.00	0.00
39	M20	Santolina epoxide	C8H17N3O2S	219.30	30.43	0.00	0.00	0.00
40	M22	S-[2-(IN,N-Dimethylaminolethyl)n,N-dimethylcarbamoyl]thiocarboxylic acid	C10H18O	154.25	30.45	0.00	0.00	0.00
41	M79	ISO-DIHYDROCARVEOL	C20H36O2	308.51	30.47	0.00	1.63	0.00
42	M40	CYCLOPENTANEMETHANOL, 2-(1-BUTENYL)-[1R-[1,ALPHA,,2,ALPHA,(Z)]]	C14H22N2O2	240.26	30.55	0.00	0.00	0.00
43	M11	2-OXATRICYCLO[4.4.1]UNDECAN-4-ONE	C15H26O	222.37	30.57	0.00	0.00	0.00
44	M34	Vulgaryl A	C19H36O	280.50	30.57	0.00	0.00	0.96
45	M23	1-ETHOXYSYCARBONYL-BETA-CARBOLINE	C20H38	278.52	30.57	0.00	0.00	1.77
46	M54	PATCHOULOL	C18H31ClO	298.90	30.57	0.00	0.00	0.00
47	M49	12-Methyl-E,E-2,13-octadecadien-1-ol	C ₃₃ H ₅₆ O ₄	376.53O	30.57	0.00	0.00	0.00
48	M85	EICOSYNE	C20H32O2	304.47	30.66	0.67	0.00	0.00
49	M71	(9E, 12E)-9,12-OCTADECADIEENOYL CHLORIDE	C15H24O	220.36	30.70	0.00	0.00	0.00
50	M84	Pregnan-20-one, 3(acetoxy)-14-hydroxy-, (3 beta,, 5 beta,, 14 beta,)-	C15H26O	204.36	30.91	0.00	0.91	0.00
51	M45	Agatholic Acid						0.00
52	M55	Caryophyllene oxide						0.00
53	M12	gamma-Guajacene						0.00
54	M50	[2,6,6-TRIMETHYL-4-(3-METHYL-2-BUTENYL)-1-CYCLOHEXEN-1-YLMETHANOL	C15H26O	222.37	30.92	0.00	0.92	0.00

Tabel 22 Konsentrasi senyawa volatil dalam daun tiga genotipe cabai pada kondisi normal dan kekeringan (*lanjutan*)

No	Label	Senyawa	Formula molekul	Berat molekul (g/mol)	Waktu retensi	Kandungan metabolit (%)					
						Kondisi normal		Kondisi kekeringan			
						SSP	Gada	C10	SSP	Gada	C10
55	M28	(2-Alpha, 6-Alpha, -Trans-9,10-Dimethyl-4-Oxatetraacyclo	C15H24	204.36	30.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
56	M21	(-)-BETA,-ELEMENE	C15H26O	222.37	31.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
57	M6	(2) Nerolidol	C15H26O	222.37	31.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
58	M56	1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-	C24H40O4	392.58	31.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00
59	M72	Chendiol	C22H26N2O4S	414.52	31.16	0.00	0.00	0.86	0.00	1.15	0
60	M73	Diltiazem			31.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
61	M29	1,3,3-trimethyl-2-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4-(3-Methylbut-2-enyl)-	C ₁₅ H ₂₄	236.350	31.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00
62	M58	Methanol [6,8,9-trimethyl-4-(1-propenyl)-3-oxabicyclo[3.3.1]non-6-en-1-yl]-	C12H22O2	198.31	31.47	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0
63	M35	OXACYCLOTRIDECAN-2-ONE	C27H46ClNO3	468.12	31.47	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0
64	M46	5-Chloro-6-nitrocholestan-3-ol	C10H16O2	168.24	31.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00
65	M51	Limonene Dioxide	C14H24O	208.35	32.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00
66	M59	7-ISOPROPYL-4A-METHYLOCTAHYDRO-2(1H)-NAPHTHALENONE	C14H24O	208.35	32.21	0.00	0.00	0.00	0.00	2.66	0.00
67	M30	13-Tetradeca-11-yn-1-ol	C12H18O	178.28	32.27	0.30	0.00	0.00	0.00	1.16	2.38
68	M36	Dodecahydro-as-indaceno[4,5-b]oxirene	C20H42	282.56	32.27	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0
69	M64	Eicosane	C19H32O	276.46	32.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43
70	M31	Androstan-3-ol									0
71	M37	6-CYCLOHEXYLIDENE-1-HEXYN-3-OL									0
72	M7	1,5,9,13-Tetradecatetraene	C14H22	190.33	32.41	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0
73	M38	9,12-Tetradecadien-1-ol, acetate	C21H38O4	354.53	32.45	1.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0
74	M13	beta-nonolinolein	C16H26O	234.38	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
75	M14	cis,cis,cis-7,10,13-hexadecatrienal	C19H34	262.48	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
76	M24	1,3,12-Nonadecatriene	C13H24O2	212.33	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
77	M32	Tridecanedioil	C10H16	136.24	32.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
78	M8	3-vinyl-1-cyclooctene	C30H50	410.73	33.12	0.33	0.00	0.83	0.96	0.92	0.71
79	M25	Squalene	C29H50O2	430.72	36.14	1.25	0.56	1.95	5.12	4.26	3.57
80	M15	Alpha-Tocopherol	C28H48O	400.69	37.39	1.37	0.00	0.00	1.74	0.00	0
81	M47	ERGOST-5-EN-3-OL	C29H50O	414.72	38.96	1.95	1.40	1.23	3.54	3.23	2.42
82	M9	gamma.-sitosterol	C17H30	234.43	2.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0



Gambar 13 *Heatmap* 10 metabolit pada 3 genotipe cabai dibawah kondisi normal dan pengairan terbatas. Keterangan: M1 Neophytadiene; M2 Linolenic acid, ethyl ester; M5 Linolenic acid; M9 gamma sitosterol; M10 phytol; M15 Alfa tokoferol; M25 Squalane; M43 i-Propyl 7,10,13,16,19-docosapentaenoate; M47 Ergost-5-en-3-ol; M53 Bicyclo [10.1.0] tridec-1-ene

Tabel 23 Rata-rata konsentrasi kandungan sepuluh metabolit pada cabai pada kondisi normal dan pengairan terbatas

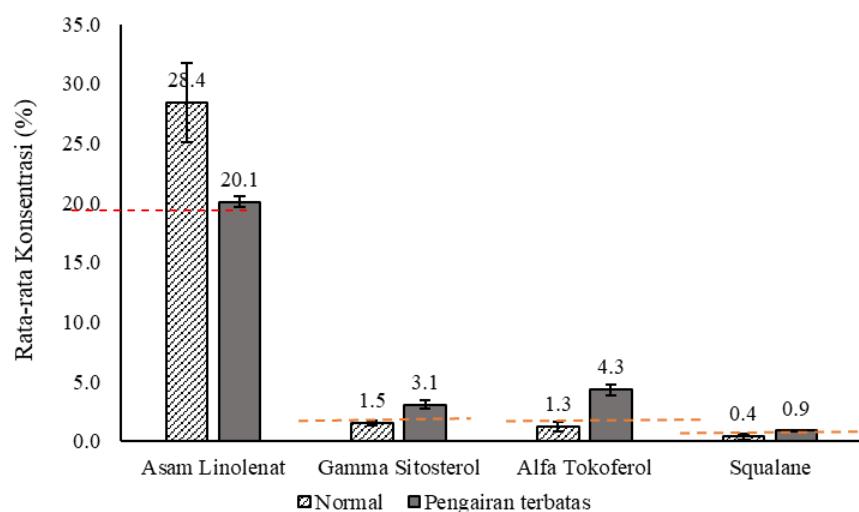
Label	Nama Metabolit	Rata-Rata Konsentrasi Metabolit (%)		t Value	Pr > t
		Normal	Tercekam		
M1	Neophytadiene	6.059	9.908	1.23	0.264
M2	Etil ester -asam linolenat	0.225	2.095	1.52	0.221
M5	Asam Linolenat	28.193	19.595	-3.53	0.032*
M9	Gamma sitosterol	1.562	2.953	4.57	0.004**
M10	Fitol	7.046	15.373	1.2	0.311
M15	Alfa Tokoferol	1.324	4.547	6.58	0.001**
M25	squalene	0.29	0.946	2.99	0.024*
M43	i-Propyl 7,10,13,16,19-docosapentaenoate	0.135	0.233	0.36	0.729
M47	Ergost-5-en-3-ol	0.343	0.434	0.17	0.874
M53	Bicyclo [10.1.0] tridec-1-ene	1.18	0.68	-0.4	0.702

Keterangan: * = nyata pada $\alpha = 0.05$; ** = sangat nyata pada $\alpha = 0.01$

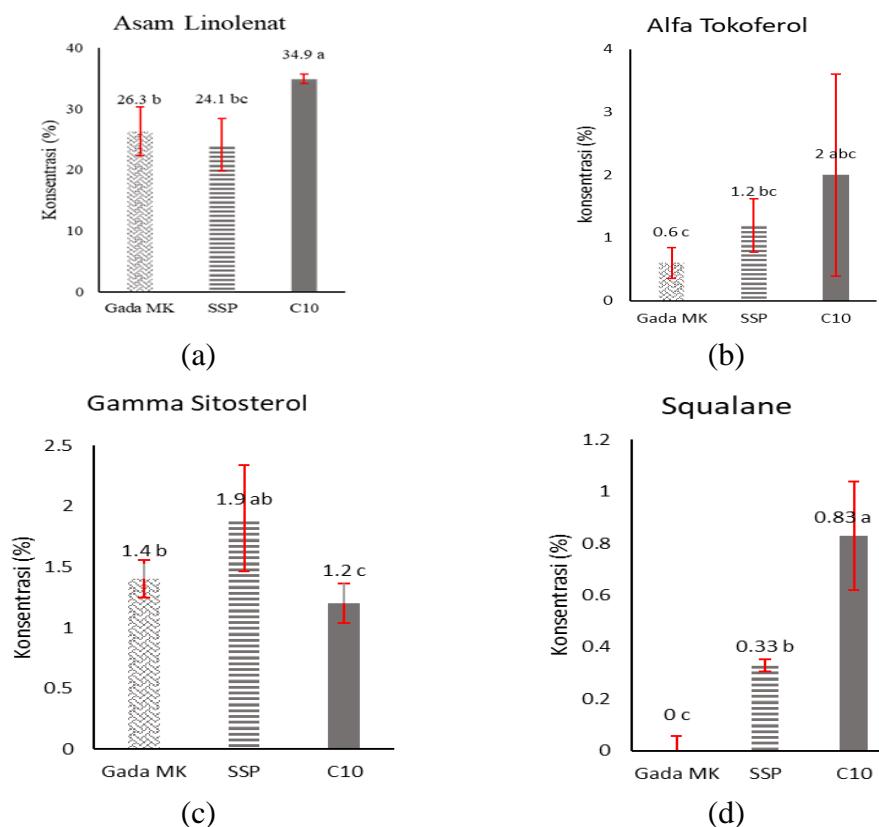
Tabel 24 Analisis ragam empat metabolit yang menunjukkan perbedaan konsentrasi pada cabai pada dua kondisi lingkungan pengairan

Metabolit	Jumlah Kuadrat			
	G	P	G*P	KK
Squalane	0.11**	0.90**	0.36**	16.93
Gamma sitosterol	0.98*	8.83**	0.11	18.98
Asam Linolenat	54.63	288.38**	32.47	17.02
Alfa Tokoferol	0.43**	2.80**	0.50**	31.96

Keterangan: * = nyata pada $\alpha = 0.05$; ** = sangat nyata pada $\alpha = 0.01$



Gambar 14 Rata-rata konsentrasi kandungan metabolit yang menunjukkan perbedaan pada sampel daun cabai yang tumbuh dibawah kondisi normal dan pengairan terbatas. Keterangan: error bar menyatakan standar error



Gambar 15 Kandungan Asam linolenat (a), Alfa-tokoferol (b), Gamma sitosterol (c) dan squalene (d) pada cabai genotipe Gada MK, SSP dan C10 dibawah kondisi normal. Keterangan: error bar menyatakan standar error



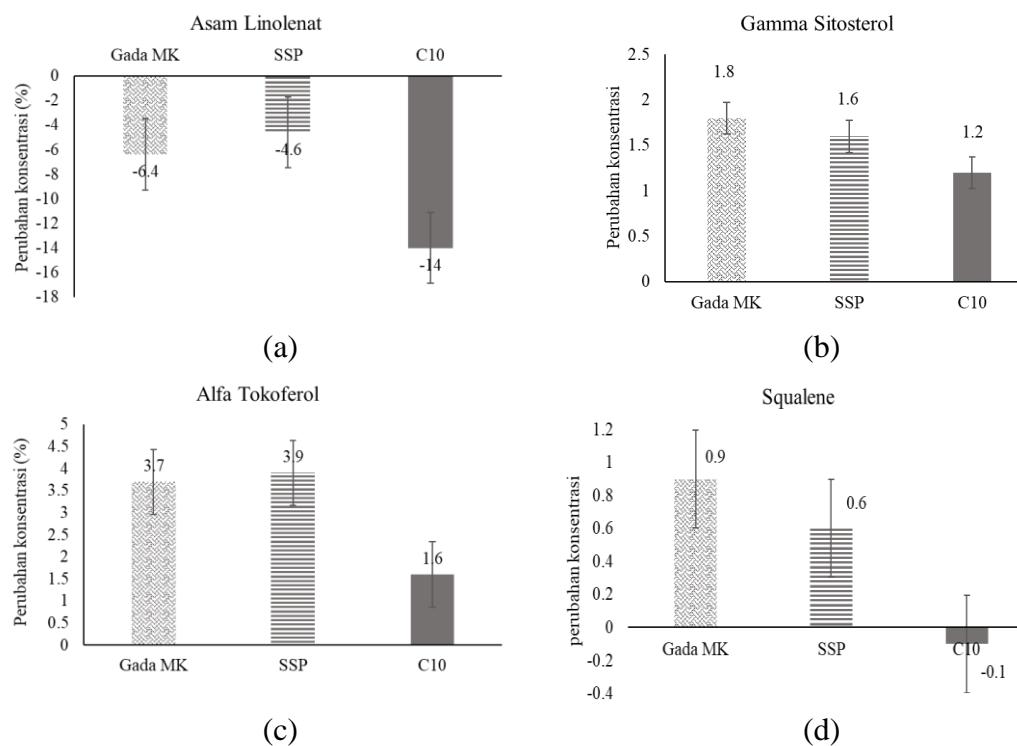
Tabel 25 Korelasi antara karakter cabai metabolomik dengan karakter vegetatif dan hasil

Karakter	P Kec	BKHip	BKAkc	JALc	IV	KV	DK	TiTan	Jcab	Pakar	JAL	BKAK	BKTj	RAT	BBh	JBh
Asam Linolenat	0.9	-0.2	0.1	0.2	-0.6	1.0*	-0.3	0.4	0.8	1.0	-1.0	-0.3	0.6	1.0	-0.2	0.9
Alfa Tokoferol	0.1	-0.9	-1.0	-1.0*	0.9	-0.2	1.0*	-1.0	-0.8	-0.4	0.6	-0.8	-0.9	-0.4	1.0*	0.2
Gamma Sitosterol	-0.3	-0.7	-0.9	-0.9	1.0*	-0.6	0.9	-1.0	-1.0	-0.7	0.8	-0.5	-1.0*	-0.7	0.9	-0.2
Squalane	0.1	-0.9	-1.0	-1.0*	0.9	-0.2	1.0*	-1.0	-0.8	-0.4	0.6	-0.8	-0.9	-0.4	1.0*	0.2

Keterangan: * nyata pada taraf $\alpha=0.05$; P Kec = panjang kecambah; BKHip = berat kering hipokotil; BKAkc = berat kering akar kecambah; JALc = jumlah akar kecambah; indeks vigor; KV = koefisien vigor; DK = daya kecambah; TiTan = tinggi tanaman; JCab = jumlah cabang; Pakar = panjang akar; JAL = jumlah akar lateral; BKAk = berat kering akar; BKTj = berat kering tajuk; RAT = rasio akar tajuk; BBh = bobot buah; JBh = jumlah buah

Tabel 26 Konsentrasi metabolit pada cabai genotipe Gada MK (toleran), SSP (toleran) dan IPB C-10 (peka) di bawah kondisi normal dan pengairan terbatas

Genotipe	Metabolit	Rata-rata konsentrasi (%)		Pr> t
		Normal (pengairan cukup)	Tercekam (pengairan terbatas)	
Gada MK	Asam Linolenat	26.3	19.9	0.192
	Alfa-Tokoferol	0.6	4.3	0.042**
	Gamma-sitosterol	1.4	3.2	0.007**
	Squalane	0	0.9	0.004**
SSP	Asam Linolenat	24.1	19.5	0.233
	Alfa-Tokoferol	1.2	5.1	0.001 **
	Gamma-sitosterol	1.9	3.5	0.035 *
	Squalane	0.3	1.0	0.005**
C10	Asam Linolenat	34.9	20.9	0.004 **
	Alfa-Tokoferol	2	3.6	0.490
	Gamma-sitosterol	1.2	2.4	0.146
	Squalane	0.8	0.7	0.797

Keterangan : *= nyata pada $\alpha=0.05$; **= sangat nyata pada $\alpha=0.05$ Gambar 16 Respon perubahan konsentrasi (Δ) asam linolenat, gamma sitosterol alfa-tokoferol dan squalane pada masing-masing genotipe cabai akibat kondisi pengairan terbatas. Keterangan: error bar menyatakan standar error

Pham Thi *et al.*, (1990) dan Repellin *et al.*, (1997) menyatakan bahwa tanaman toleran cenderung mengandung asam linolenat lebih sedikit daripada tanaman peka. Tanaman kacang tuggak (*Vigna unguiculata*) dan kapas (*Gossypium hirsutum*) yang toleran terhadap kekeringan mengandung jumlah lipid polar yang lebih sedikit dan tingkat kejemuhan yang lebih tinggi karena kandungan

asam linolenat yang lebih sedikit dibandingkan tanaman peka pada kondisi normal (Pham Thi *et al.*, 1990). Ketika terpapar kekeringan, persentase asam linolenat dalam varietas kacang tunggak dan kapas yang peka terhadap kekeringan menurun secara signifikan, sedangkan pada varietas toleran kekeringan kandungan asam linolenatnya hanya sedikit menurun atau tidak bervariasi (Pham Thi *et al.*, 1990). Asam linolenat adalah konstituen membran, dimana membran merupakan target utama dari proses degradasi yang disebabkan oleh kekeringan, dan telah diketahui bahwa di bawah kondisi cekaman kekeringan, penurunan kandungan membran lipid berkorelasi dengan penghambatan biosintesis lipid dan merangsang aktivitas lipopolitik dan peroksidasi. (Pham Thi *et al.*, 1985; Munne-Bosch dan Alegre, 2002; sahsah *et al.*, 1998).

Studi di berbagai tanaman telah menunjukkan hubungan positif antara biosintesis/akumulasi tokoferol dan cekaman air (Munn'e-Bosch *et al.*, 1999; Munn'e-Bosch dan Alegre, 2003). Beberapa Laporan telah menunjukkan peningkatan alfa-tokoferol yang luar biasa dalam kondisi kekurangan air pada kacang polong (Tanaka *et al.*, 1990; Moran *et al.*, 1994), gandum dan cereal (Price *et al.*, 1989; Bartoli *et al.*, 1999), rosemary (Munn'e-Bosch *et al.*, 1999), dan lavender (Munn'e-Bosch dan Alegre, 2001). Alfa-tokoferol adalah antioksidan yang memiliki peran utama untuk menstabilkan struktur membran yang terlibat dalam reaksi dengan rantai asam lemak tak jenuh ganda (Sattler *et al.*, 2003). Peningkatan kandungan alfa-tokoferol diasumsikan berkontribusi pada sifat toleran tanaman terhadap cekaman, sementara penurunan jumlah kandungannya mengindikasikan adanya kerusakan oksidatif (Munne-Bosch, 2005). Kumar *et al.*, (2013) mengamati bahwa tanaman *Brassica juncea* transgenik yang diperkaya Alfa-tokoferol secara berlebihan dengan mengekspresikan gen γ -TMT menunjukkan peningkatan toleransi terhadap stres kekeringan dibandingkan dengan tanaman tipe liar. Hasanuzzaman *et al.*, (2014) menyatakan bahwa peningkatan kadar alfa-tokoferol dapat meningkatkan efisiensi fotosintesis dan peroksidasi lipid yang lebih rendah yang mengarah pada perlindungan oksidatif yang lebih baik.

Terjadi peningkatan gamma-sitosterol sebagai salah satu fitosterol pada tanaman cabai saat terkena kekeringan. Kumar *et al.*, (2015) menyatakan bahwa fitosterol diperlukan untuk memperkuat struktur membran sel. Pada tanaman padi yang terkena cekaman kekeringan terjadi peningkatan fitosterol, dan kemampuan kultivar toleran untuk bertahan dalam kondisi kekeringan disebabkan oleh kemampuannya yang lebih baik untuk mengakumulasi fitosterol daripada kultivar yang rentan (Kumar *et al.*, 2015).

Terjadinya peningkatan kandungan squalene dalam daun tanaman cabai yang dipelihara pada kondisi pengairan terbatas diduga karena adanya peningkatan kebutuhan pembentukan sterol, yang merupakan kelompok senyawa isoprenoid (Hartman 1998), untuk memperkuat struktur membran sel yang terganggu akibat kekurangan air, sebab squalene merupakan intermediet penting dari biosintesis sterol (Spanova and Daum 2011; Jiang *et al.*, 2015). Sintesis dan konversi lebih lanjut dari squalene adalah langkah-langkah kunci dalam metabolisme sterol dan komponen terkait (Spanova dan Daum 2011).

Sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya, hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan asam linolenat dalam genotipe peka (C10) lebih tinggi daripada genotipe toleran (Gada dan SSP). Genotipe C10 mengandung



asam linolenat tertinggi (34.9%), dan berbeda secara signifikan dibandingkan dengan genotipe Gada (26.3%) dan SSP (24.1%) pada kondisi normal (Gambar 15a.). Terjadi penurunan kadar asam linolenat yang signifikan pada genotipe peka (C10) ketika terkena kekeringan dengan penurunan kandungan hingga 14%, sedangkan pada genotipe toleran (Gada MK dan SSP) terjadi penurunan kadar asam linolenat yang tidak signifikan (6.4 dan 4.6% berturut-turut) (Tabel 25; Gambar 16a.). Rata-rata kandungan alfa-tokoferol pada tiga genotipe cabai yang diuji di bawah kondisi normal tidak berbeda secara signifikan (Gambar 15b), tetapi terjadi peningkatan kandungan alfa-tokoferol yang signifikan pada genotipe toleran (Gada MK dan SSP) ketika diberi pengairan terbatas, sedangkan pada genotipe peka (C10) perubahan kandungan alfa-tokoferol tidak signifikan (Tabel 25; Gambar 16c). Tampaknya genotipe toleran (Gada MK dan SSP) mengakumulasi alfa-tokoferol lebih baik (masing-masing 3.7 dan 3.9%) daripada genotipe peka (C10) (1.6%) ketika terpapar kekurangan air (Gambar 16c). Kandungan gamma-sitosterol pada genotipe peka (C10) (1.2%) di bawah kondisi normal berbeda secara signifikan dengan kandungan gamma-sitosterol pada genotipe toleran (Gada MK dan SSP) (masing-masing 1.4 dan 1.9%) (Tabel Gambar 15c). Terjadi peningkatan kandungan gamma-sitosterol yang sangat signifikan pada genotipe toleran (Gada MK dan SSP) dan peningkatan yang tidak signifikan pada genotipe peka (C10). (Tabel 25; Gambar 16b). Nilai peningkatan kandungan gamma sitosterol pada genotipe toleran (Gada MK dan SSP) (masing-masing 1.8 dan 1.6%) lebih tinggi dan berbeda secara signifikan dengan peningkatan pada genotipe peka (C10) (1.2%) (Gambar 16b). Kandungan squalene pada genotipe peka (C10) saat kondisi normal lebih tinggi (0.83%) dan berbeda nyata dari kedua genotipe toleran, bahkan pada genotipe Gada MK, kandungan squalene saat kondisi pengairan normal tidak terdeteksi (0%) (Gambar 15d). Namun saat kondisi cekaman pengairan terbatas kandungan squalene pada genotipe toleran (Gada dan SSP) meningkat secara nyata (berturut-turut 0.9 dan 0.6%) (Tabel 25; Gambar 16d) dan pada genotipe peka (C10) cenderung tidak terdeteksi adanya peningkatan kandungan squalene. Terjadinya peningkatan kandungan squalene pada genotipe toleran saat kondisi pengairan terbatas diduga karena adanya peningkatan kebutuhan pembentukan sterol sebagai upaya tanaman memperkuat struktur membran sel.

Analisis korelasi terhadap nilai indeks sensitifitas kekeringan karakter-karakter yang diamati memperlihatkan adanya hubungan yang erat dan nyata antara karakter metabolit alfa-tokoferol dan squalene dengan karakter daya berkecambah dan karakter jumlah buah. Hasil ini dapat memperjelas peran kedua metabolit dalam mekanisme toleransi tanaman cabai untuk mempertahankan pertumbuhan dan hasilnya pada kondisi pengairan terbatas. Hasil ini sejalan dengan hasil analisis ragam, dimana kedua metabolit ini memperlihatkan adanya interaksi yang sangat nyata antara genotipe dalam merespon perbedaan lingkungan (Tabel 23).

Tampaknya mekanisme genotipe cabai dalam merespons dan beradaptasi dengan kondisi pengairan terbatas adalah dengan menghindari (avoidance) terjadinya degradasi (kerusakan) membran sel (kadar asam linolenat tetap tinggi atau hanya menurun sedikit) dengan cara meningkatkan produksi gamma-sitosterol untuk memperkuat struktur membran sel dan meningkatkan Alfa-tokoferol sebagai antioksidan yang memiliki peran utama dalam menstabilkan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak mengulang kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

struktur membran, khususnya pada reaksi yang melibatkan rantai asam lemak tak jenuh ganda (Sattler *et al.*, 2003), seperti asam linolenat. Upaya peningkatan produksi gamma-sitosterol pada tanaman sangat bergantung pada kemampuan tanaman dalam menyediakan senyawa squalene, yang merupakan senyawa intermediate penting dari biosintesis sterol (Spanova dan Daum 2011; Jiang *et al.*, 2015).

6.6 Simpulan

Terdapat 83 senyawa volatil yang teridentifikasi dari tiga genotip cabai yang tumbuh di bawah kondisi normal dan kekeringan, tetapi hanya 10 metabolit, yaitu: neophytadiene, ester-etil asam linolenat, asam linolenat, gamma-sitosterol, phytol, Alpha-tocopherol, squalene, i-Propyl 7,10,13,16,19-docosapentaenoate, Ergost-5-en-3-ol dan Bicyclo [10.1.0] tridec-1-ene yang dapat membedakan genotipe berdasarkan perlakuan penyiraman yang diterapkan dan hanya empat metabolit yang menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kondisi normal dan tercekam kekeringan.

Penelitian ini menunjukkan bukti bahwa respon tanaman cabai terhadap cekaman kekeringan ditunjukkan oleh terjadinya penurunan kadar asam linolenat, dan peningkatan kadar alfa-tokoferol, gamma-sitosterol serta squalane. Percobaan ini menunjukkan bahwa respon tanaman cabai berupa perubahan kandungan asam linolenat, alfa-tokoferol, gamma-sitosterol dan squalene dalam menanggapi cekaman kekeringan berbeda tergantung genotipe.

Genotipe cabai yang toleran (Gada dan SSP) terhadap pengairan terbatas mengandung asam linolenat yang lebih rendah (26.3 dan 24.1%, berturut-turut) dalam kondisi normal dibandingkan dengan kandungan asam linolenat pada genotipe peka (C10) (34.9%), dan tidak mengalami penurunan kandungan asam linolenat yang signifikan saat terkena kekeringan. Genotipe toleran mengalami peningkatan kandungan alfa-tokoferol (masing-masing 3.7 dan 3.9%) yang lebih tinggi dibandingkan dengan peningkatan kandungan alfa-tokoferol genotipe peka (C10) (1.6%) ketika terpapar kekeringan, mengalami peningkatan kandungan gamma-sitosterol yang lebih tinggi (1.8 dan 1.6% berturut-turut) dan berbeda secara signifikan dengan peningkatan gamma sitosterol pada genotype peka (C10) (1.2%) ketika terpapar pengairan terbatas, dan genotipe toleran (Gada MK dan SSP) juga mengalami peningkatan kandungan squalene yang lebih tinggi (berturut-turut 0.9 dan 0.6%) dan berbeda secara signifikan dengan perubahan kandungan squalane pada genotipe peka (C10) yang tidak mengalami peningkatan bahkan cenderung menurun, ketika di pelihara pada kondisi pengairan terbatas.

Korelasi positif yang erat dan nyata dari karakter metabolit Alfa tokoferol dan squalene dengan karakter daya berkecambah dan bobot buah per tanaman mengindikasikan bahwa kedua metabolit ini dapat dijadikan sebagai karakter seleksi untuk toleransi terhadap pengairan terbatas.



VII PEMBAHASAN UMUM

Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produktivitas cabai di lahan kering adalah dengan penggunaan varietas unggul toleran kekeringan. Genotipe toleran kekeringan didefinisikan sebagai tanaman yang dapat tumbuh dan mempertahankan produktivitas hasil pada kondisi kekurangan air. Perakitan varietas cabai toleran kekeringan melalui program pemuliaan merupakan cara yang paling efektif dalam rangka memperoleh varietas cabai yang unggul. Permasalahan yang sering muncul dalam kegiatan pemuliaan adalah pemilihan genotipe yang tepat untuk dijadikan tetua persilangan dalam menghasilkan varietas yang unggul. Pemahaman komprehensif secara genetik dan metabolomik terhadap cekaman kekeringan pada tanaman cabai diperlukan untuk mendapatkan strategi pengembangan varietas yang toleran terhadap cekaman kekeringan berbasis genetik dan metabolomik.

Dalam rangka mengembangkan kultivar toleran kekeringan diperlukan metode seleksi yang efektif dan tetua-tetua yang potensial. Seleksi dini genotipe toleran kekeringan pada fase perkecambahan merupakan upaya untuk mengatasi biaya yang mahal, lamanya waktu yang dibutuhkan, dan jumlah genotipe yang banyak untuk diuji di lapang. Karakter kekeringan adalah karakter yang dikendalikan oleh banyak gen, karena itu dibutuhkan karakter yang dapat dijadikan sebagai alat seleksi dan berkorelasi dengan hasil serta memiliki nilai heritabilitas yang tinggi. Karakter berat kering kecambah total, panjang akar, bobot basah tajuk, berat kering tajuk dan jumlah buah adalah karakter yang berkorelasi nyata dan positif dengan karakter bobot buah per tanaman.

Genotipe-genotipe cabai yang potensial adalah genotipe-genotipe dengan karakter toleran dan memiliki daya gabung yang tinggi. Berdasarkan hasil skrining awal diketahui genotipe cabai IPB C-5, IPB C-7, IPB C-8, IPB C-12, IPB C-18, IPB C-37, IPB C-145, SSP, Gada, Syakira dan Yuni adalah termasuk genotipe yang moderat toleran hingga sangat toleran berdasarkan seleksi pada fase kecambah dan fase vegetatif dan hasil. Sementara genotipe IPB C-10, IPB C-19, IPB C-51, IPB C-120, IPB C-142, IPB C-143, IPB C-160, Seloka, Anies, Bonita dan, Jalapeno termasuk kategori genotipe yang peka hingga moderat toleran berdasarkan seleksi pada fase kecambah dan fase vegetatif dan hasil.

Analisis parameter genetik, menggunakan metode analisis silang dialel pada genotipe terpilih berdasarkan hasil skrining sebelumnya, memperlihatkan nilai ragam dominan yang nyata dan lebih besar dari ragam aditif berdasar indeks sensitifitasnya terhadap pengairan terbatas dari masing-masing karakter. Tingginya pengaruh gen-gen dominan dalam mempengaruhi keragaan suatu karakter menandakan bahwa karakter-karakter tersebut sangat baik untuk dieksplorasi heterosisnya dalam rangka membentuk varietas hibrida. Selain itu, kondisi ragam aditif yang nyata juga memberikan potensi perakitan varietas bersari bebas (non hibrida) yang toleran pengairan terbatas.

Berdasarkan hasil analisis daya gabung (DG) menggunakan prosedur analisis dialel metode II Griffing diketahui bahwa aksigen pada beberapa karakter cenderung tidak terekspresi di bawah kondisi tercekam, hal ini ditandai dengan nilai DG yang tidak nyata. Pada kondisi tercekam tanaman mendapat tekanan sehingga penampilan karakternya menjadi tidak/kurang beragam, kecuali pada



karakter-karakter terkait toleransi terhadap cekaman. Sedangkan analisis DG berdasarkan nilai ISK dapat mengidentifikasi adanya pengaruh aksigen baik aditif maupun dominan pada semua karakter yang diamati. Dengan demikian karakter berdasarkan ISK merupakan karakter yang tepat sebagai karakter seleksi.

Nilai DGU dan DGK yang nyata hingga sangat nyata pada semua karakter yang diamati berdasarkan nilai ISK memperlihatkan adanya pengaruh atau kendali aksigen dominan dan aditif pada sifat toleransi tanaman cabai terhadap pengairan terbatas. Hal ini sesuai dengan hasil analisis parameter genetic yang memperlihatkan adanya pengaruh aksigen dominan dan aditif pada karakter-karakter berdasarkan nilai ISK-nya dengan RG dominan lebih besar daripada aditif.

Studi metabolomik telah memberikan kontribusi yang signifikan untuk mempelajari dan memahami cekaman biologi pada tumbuhan dengan mengidentifikasi senyawa yang berbeda sebagai respons terhadap lingkungannya. Pengetahuan terhadap profil metabolomik cabai pada kondisi pengairan terbatas akan sangat membantu para pemulia tanaman cabai dalam menyeleksi tanaman cabai yang toleran terhadap pengairan terbatas. Hasil uji metabolomik mengungkapkan empat metabolit penting yaitu asam linolenat, gamma-sitosterol dan alpha-tocopherol dan squalene yang konsentrasi kandungannya berbeda antara tanaman cabai dibawah kondisi normal dan di bawah kondisi pengairan terbatas. Toleransi tanaman cabai terhadap pengairan terbatas dipengaruhi oleh kemampuan tanaman untuk mengurangi terjadinya degradasi asam linolenat melalui usaha tanaman dalam meningkatkan/mengakumulasi senyawa alfa tokoferol, gamma sitosterol dan squalane.

Analisis korelasi antar karakter yang diamati memperlihatkan adanya korelasi yang positif dan nyata dengan nilai korelasi yang tinggi antara kandungan metabolit alfa tokoferol dan squalene dengan karakter daya berkecambah dan karakter bobot buah per tanaman. Demikian juga karakter daya berkecambah berkorelasi positif, nyata dan nilai korelasinya tinggi dengan karakter bobot buah per tanaman. Berdasarkan hasil analisis korelasi tersebut kegiatan seleksi untuk mendapatkan tanaman cabai toleran pengairan terbatas dapat dilakukan secara efektif dengan memperhatikan kandungan metabolit alfa-tokoferol dan squalene, dan karakter daya berkecambah sebagai proses skrining pada fase dini. Informasi ini berguna bagi para pemulia tanaman cabai dalam pemilihan tetua pada perakitan varietas hibrida atau dalam pemilihan galur pada generasi lanjut pada perakitan varietas bersari bebas (non hibrida) tanaman cabai toleran pengairan terbatas.



8.1 Simpulan

1. Penggunaan larutan PEG 6000 dengan konsentrasi 15% (w/v) pada saat kecambah muncul radikula dapat mendeteksi secara dini genotipe cabai toleran kekeringan.
2. Karakter rasio akar tajuk adalah karakter yang dapat dijadikan sebagai karakter seleksi untuk toleransi terhadap pengairan terbatas. Pada tahap penapisan awal, karakter kecambah yaitu daya berkecambah, panjang hipokotil, panjang akar, rasio panjang akar dengan panjang hipokotil, panjang kecambah dan berat kering hipokotil dapat dijadikan sebagai karakter seleksi pada proses skrining awal (evaluasi dini) tanaman cabai toleran pengairan terbatas.
3. Genotipe cabai IPB C-5, IPB C-7, IPB C-8, IPB C-12, IPB C-18, IPB C-37, IPB C-145, SSP, Gada, Syakira dan Yuni adalah termasuk genotipe yang moderat toleran hingga sangat toleran berdasarkan seleksi pada fase kecambah dan fase vegetatif dan hasil. Sementara genotipe IPB C-10, IPB C-19, IPB C-51, IPB C-120, IPB C-142, IPB C-143, IPB C-160, Seloka, Anies, Bonita dan Jalapeno termasuk kategori genotipe yang peka hingga moderat toleran berdasarkan seleksi pada fase kecambah dan fase vegetatif dan hasil.
4. Adanya pengaruh ragam dominan yang lebih besar dari ragam aditif pada semua karakter yang diamati berdasarkan nilai indeks sensitivitas kekeringan. Pada kondisi pengairan terbatas pengaruh nyata ragam dominan terlihat pada karakter berat kering akar, jumlah buah dan bobot buah, sedangkan pengaruh nyata ragam aditif hanya terlihat pada karakter jumlah akar lateral.
5. Nilai DGU (Daya Gabung Umum) berdasar indeks sensitivitas kekeringan (ISK) memperlihatkan pengaruh nyata pada semua karakter yang diamati. Nilai DGU terbaik berdasar nilai ISK untuk karakter jumlah akar lateral dan Panjang akar dimiliki oleh genotipe Seloka, untuk karakter berat kering akar, berat kering tajuk dan jumlah cabang dimiliki oleh genotipe IPB C-10, untuk karakter rasio akar tajuk dimiliki oleh genotipe IPB C-7, untuk karakter jumlah buah dimiliki oleh genotipe IPB C8 dan untuk karakter bobot buah dimiliki oleh genotipe IPB C18. Pada kondisi pengairan terbatas, tidak terdapat pengaruh nyata DGU pada karakter jumlah akar lateral, bobot kering akar, bobot kering tajuk dan jumlah cabang. Pengaruh nyata DGU pada kondisi pengairan terbatas hanya terlihat pada karakter panjang akar, rasio akar tajuk, jumlah buah dan bobot buah. Nilai DGU terbaik dari karakter rasio akar tajuk dan jumlah buah pada kondisi pengairan terbatas dimiliki oleh genotipe IPB C-7. Nilai DGU terbaik untuk karakter bobot buah pada kondisi penyiraman terbatas dimiliki oleh genotipe Seloka.
6. Pengaruh daya gabung khusus (DGK) sangat nyata pada semua karakter yang diamati berdasarkan nilai ISK. Nilai DGK terbaik berdasarkan nilai ISK untuk karakter jumlah akar lateral dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-10 x Seloka, untuk karakter berat kering akar dan berat kering tajuk dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-18 x Seloka, untuk karakter jumlah cabang dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-10 x IPB C-8, untuk karakter rasio akar tajuk dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-8 x Seloka, untuk karakter Panjang akar dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-18 x SSP,

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengulang kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

untuk karakter jumlah buah dan bobot buah dimiliki oleh kombinasi persilangan SSP x Seloka. Pengaruh nyata DGK pada kondisi pengairan terbatas hanya terlihat pada karakter bobot kering akar, jumlah cabang, rasio akar tajuk, jumlah buah dan bobot buah. Nilai DGK terbaik untuk karakter bobot kering akar (0.77) dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-10 x IPB C-7, nilai DGK terbaik untuk jumlah cabang (14.09) dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-18 x SSP, nilai DGK terbaik untuk karakter rasio akar tajuk (0.10) dan jumlah buah (0.11) dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-8 x Seloka, dan nilai DGK terbaik untuk karakter bobot buah (18.08) dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-10 x Seloka. DGK (Daya Gabung Khusus) tertinggi untuk karakter komponen hasil pada kondisi tercekam yaitu IPB C-10 x Seloka untuk karakter bobot buah dan IPB C-8 x Seloka untuk karakter jumlah buah. Sedangkan nilai DGU ISK karakter hasil baik jumlah buah maupun bobot buah dimiliki oleh kombinasi persilangan genotipe SSP x Seloka.

7. Empat metabolit penting yaitu asam linolenat, gamma-sitosterol, alfa-tokoferol dan squalene berasosiasi dengan sifat toleransi tanaman cabai terhadap cekaman kekeringan. Toleransi tanaman cabai terhadap cekaman dipengaruhi oleh kemampuannya untuk mengurangi degradasi asam linolenat dan untuk meningkatkan akumulasi alfa-tokoferol serta gamma sitosterol dan squalane.

8.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang melibatkan galur-galur dengan tingkat toleransi yang *distinc* (memiliki jarak genetik yang jauh) untuk mendapatkan informasi yang lebih lengkap terkait pewarisan karakter toleransi terhadap pengairan terbatas.

Pembentukan varietas toleran pengairan terbatas, baik berupa varietas hibrida maupun non-hibrida dapat dilakukan dengan memanfaatkan tetua-tetua terpilih hasil seleksi pada penelitian ini.

Pembentukan varietas non-hibrida tanaman cabai toleran pengairan terbatas disarankan menggunakan metode seleksi bulk, hal ini berkaitan dengan nilai rasio genetik dimana ragam dominan dari semua karakter yang diamati lebih tinggi dibandingkan ragam aditif.

Karakter daya berkecambah, jumlah buah per tanaman serta kandungan metabolik alfa tokoferol dan squalene dapat digunakan sebagai karakter seleksi dalam pengembangan varietas cabai toleran pengairan terbatas.



DAFTAR PUSTAKA

- Abayomi YA. 2002. Sugarbeet Leaf Growth and Yield Response to Soil Water Deficit. *African Crop Science Journal*. 10(1).
- Afa La Ode, Bambang SP, Ahmad J, Oteng H, dan Iswari SD. 2013. Deteksi Dini Toleransi Padi Hibrida terhadap Kekeringan menggunakan PEG 6000. *J. Agron. Indonesia*. 41 (1): 9-15.
- Alia Y, Baihaki A, Hermiati N, Yuwariah Y. 2004. Pola Pewarisan Karakter Jumlah Berkas Pembuluh Kedelai. *Zuriat*. 15 (1): 24-31.
- Agustina M, Sutjahjo SH, Trikoesoemaningtyas, Jagau Y. 2005. Pendugaan Parameter Genetika Karakter Agronomik Padi Gogo pada Tanah Ultisol melalui Analisis Dialet. *Hayati*, 12: 98-102.
- Arisandy P. 2018. Analisis Genetik dan Evaluasi Karakter Seleksi Genotipe Hibrida Jagung Silang Dialet untuk Toleransi dan Adaptabilitas pada Cekaman Kekeringan [tesis]. Bogor (ID): Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Athar HR and Ashraf M. 2009. *Strategies for crop improvement against salinity and drought stress: An overview (Chapter 1)*. Salinity and Water Stress, Springer Science Business Media B.V. 1-16 pp.
- Bahadur A, Chatterjee A, Kumar R, Singh M, Naik PS. 2011. Physiological and biochemical basis of drought tolerance in vegetables. *Vegetable Science*, 38(1): 1-16.
- Baihaki A. 2000. *Teknik Rancang dan Analisis Penelitian Pemuliaan*. Bandung (ID): Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran.
- Banziger M, Edmeades GO, Back D, Bellon M. 2000. Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize. CYMMIT.
- Bell S. 2011. A beginner's guide to humidity measurement. National Physical Laboratory. UK's national measurement institute.
- Bosland P W. 1996. Capsicums: Innovative uses of an ancient crop. p. 479-487. In: J. Janick (ed.), *Progress in new crops*. ASHS Press, Arlington, VA.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Berita Resmi Statistik No.05/09/Th. XVI, 4 Agustus 2014. [diunduh 2015 Maret 18]. Tersedia pada: http://maluku.bps.go.id/filemanager/arsip/brs/2014/Agustus/atap_agustus.pdf.
- Campbell NA, Reece JB, Mitchell LG. 2003. Biologi Jilid 1. Jakarta (ID): Erlangga.
- Chazen O, Neumann PM. 1994. Hydraulic signals from the roots and rapid cell wall hardening in growing maize (*Zea mays* L.) leaves are primary responses to polyethylene glicol-induced water deficits. *Plant Physiol*. 104: 1385-1392.
- Damayanti I, Yolanda F. 2019. Harga Cabai Anjlok, Petani Minta Harga Acuan Ditentukan. Republika online [Internet]. [diunduh 2019 Oktober 2]. Tersedia pada: <https://www.republika.co.id/berita/ekonomi/pertanian/pt496a370/harga-cabai-anjlok-petani-minta-harga-acuan-ditentukan>.

- De Leonardis AM, Petrarulo M, De Vita P, Mastrangelo AM. 2012. *Genetic and Molecular Aspects of Plant Response to Drought in Annual Crop Species*. Giuseppe Montanaro and Bartolomeo Dichio (Eds). Advances in selected plant physiology aspect. Intechopen.com. [Internet]. [diunduh 2015 Maret 17]. Tersedia pada: <https://www.intechopen.com/books/advances-in-selected-plant-physiology-aspects/genetic-and-molecular-aspects-of-plant-response-to-drought-stress>.
- Dudley JW, Hallauer AR, Ryder EJ. 1999. *Plant breeding review*. New York (US): J Wiley.
- Dubrovsky, Go'mez-Lomeli LF. 2003. Water deficit accelerates determinate developmental program of the primary root and does not affect lateral root initiation in a Sonoran Desert cactus (*Pachycereus pringlei*, Cactaceae). *American Journal of Botany*, 90(6): 823-831.
- Duriat AS. 1996. *Cabai merah: komoditas prospek andalan*. Duriat AS, Widjaja A, Hadisoeganda W, Soetiarso TA, Prabaningrum L. Editor. *Teknologi Produksi Cabai Merah*. Lembang (ID): Balai Penelitian Tanaman Sayuran.
- Efendi R. 2009. Metode Dan Karakter Seleksi Toleransi Genotipe Jagung Terhadap Cekaman Kekeringan. [Thesis]. Bogor (ID): Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- El-Badawy MM. 2013. Heterosis and combining ability in maize using diallel crosses among seven new inbred lines. *Asian J Crop Sci.*, 5: 1-13.
- Fernandez GJC. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Int.Proceeding of Symposium. Taiwan, 13-16 August, pp: 257-270.
- Fischer RA, Maurer R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars 1. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.*, 29:897-912.
- Fitter AH, Hay RKK. 1994. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. Yogyakarta (ID): UGM Press.
- Ghildyal BP, Tomar VS. 1982. Soil Physical properties that affect rice root systems under drought, p. 83-96. In IRR1. *Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice*. Los Banos (PH): IRR1.
- Greenleaf WH. 1986. *Pepper breeding*. Bassett MJ, editor. *Breeding Vegetable Crops*. Connecticut (US): AVI Pub. Co. Inc., hlm 67-134.
- Harpenas A, Dermawan R. 2009. *Budi Daya Cabai Unggul*. Jakarta (ID): Penebar Swadaya.
- Hartmann MA. 1998. Plant sterols and the membran environment. *Trends in Plant Science*, 3(5): 170–175 (1998).
- Haryati 2008. Pengaruh Cekaman Air terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman. Medan (ID): USU [diunduh 2013 November 3]. Tersedia pada: <http://library.usu.ac.id/download/fp/hslpertanian-haryati2.pdf>.
- Hayman BI. 1954. The Theory and Analysis of Dialel Crosses. *Genetics* 39:789 November 1954.
- Held IM, Delworth TL, Lu J, Findell KL, Knutson TR. 2005. Simulation of Sahel drought in the 20th and 21st centuries. *Proc Natl Acad Sci.*, 102:17891–17896.
- Ismail SM. 2010. Influence of deficit irrigation on water use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annuum* L.). *JKAU: Met, Env. & Arid Land Agric. Sci.* 21(2) DOI: 10.4197/Met. 21-2.3.

- Ismail SM. 2012. Water Use Efficiency and Bird Pepper Production as Affected by Deficit Irrigation Practice. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 2(5): 262-267.
- Jaleel CA, Manivannan P, Lakshmanan GMA, Gomathinayagam M, Panneerselvam R. 2008. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids Surf. B: Biointerfaces*, 61: 298-303.
- Jaleel CA, Manivannan P, Wahid A, Farooq M, Somasundaram R, Panneerselvam R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *Int. J. Agric. Biol.*, 11: 100-105.
- Jiang Y, Chen H, Chen X, Köllner TG, Jia Q, Wymore TW, Wang F, Chen F. 2015. Volatile squalene from a nonseed plant *Selaginella moellendorffii*: Emission and biosynthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 96: 1-8.
- Kulkarni M, Phalke S.. 2008. Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annuum* L.) under water stress. *Sci. Hort.*, 120: 159-166.
- Kumar, R, Solankey SS, Singh M. 2012. Breeding for drought tolerance in vegetables. *Vegetable Science*, 39 (1): 1-15.
- Kumar S, Dwivedi SK, Singh SS, Jha SK, Lekshmy S, Elanchezhian R, Singh ON and Bhatt BP. 2014. Identification of Drought Tolerant Rice Genotypes by Analysing Drought Tolerance Indices And Morpho-Physiological Traits. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 46 (2): 217-230.
- Kurnia U., M.S. Junaedi dan G. Irianto. 2002. Irigasi hemat air pada lahan kering di daerah perbukitan iritis Imogiri, DI. Yogyakarta. Makalah disampaikan dalam seminar Nasional Sumberdaya Lahan, Cisarua-Bogor 6-7 Agustus 2002. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Kurniasari AM, Adisyahputra, Rosman R. 2010. *Pengaruh Kekeringan pada Tanah Bergaram NaCl terhadap Pertumbuhan Tanaman Nilam*. Jakarta (ID): Jurusan Biologi FMIPA UI.
- Kusandriani Y. 1996. *Monograf no.2. Pembentukan Hibrida Cabai*. Lembang (ID): Balai Penelitian Tanaman Sayuran.
- Kusumainderawati EP. 2003. Upaya Peningkatan Produksi Cabai Merah Keriting Melalui Perbaikan Teknologi Budidaya Pada Lahan Kering Dataran Rendah. *Buletin Teknologi dan Informasi Pertanian*, 6: 32-41.
- Levitt JB .1980. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York.
- Li R, Guo P, Baum M, Grando S, Ceccarelli S. 2006. Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. *Agricultural Sciences in China*, 5 (10): 751-757.
- Margaret. 2008. Peningkatan Kelarutan Ibuprofen dengan Metode Dispersi Padat Menggunakan *Polietilenglikol* 6000. [Skripsi]. Depok (ID): Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. 69 hal.
- Mariska I dan Lestari EG. 2006. Seleksi In Vitro untuk Toleransi terhadap Faktor Abiotik pada Tanaman Padi dan Kedelai. Prosiding Seminar Nasional Pemanfaatan Bioteknologi untuk Mengatasi Cekaman Abiotik pada Tanaman. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian, Bogor.

- Mattjik AA, Sumertajaya IM. 2006. *Perancangan Percobaan dengan aplikasi SAS dan Minitab. Edisi ke-3.* Bogor (ID): IPB Press. 225 hal.
- McWilliam J. 1989. The dimensions of drought. In: Baker F, ed. *Drought resistance in cereals.* Wallingford, UK: CAB International, 1-11.
- Mexal J, Fisher JT, Osteryoung J, Patrick Reid CP. 1975. Oxygen availability in polyethylene glycol solutions and its implications in plant-water relations. *Plant Physiol.* 55: 20-24.
- Michel BE, Kaufmann MR. 1973. The Osmotic Potential of Polyethylene Glycol 6000. *Plant Physiol.*, 51: 914-916.
- Misnen, Palupi ER, Syukur M, Yudiwanti. 2012. Penapisan Genotipe Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) untuk Toleransi terhadap Kekeringan. *J. Agron. Indonesia*, 40(3): 232-238.
- Mitra J. 2001. Genetics and genetics Improvement of drought resistance in crop plants. *Curr. Sci.*, 80(6): 758-763.
- Morgan JM. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 35: 299-319.
- Noggle GR, Fritz GJ. 1983. *Introductory Plant Physiology.* New Jersey (US): Prentice Hall, Inc.
- Pham Thi AT, Da Silva JV, Mazliak P. 1990. The role of membran lipids in drought resistance of plants. *Bull de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 137(1): 99-114.
- Poehlman JM, Sleeper DA. 1990. *Breeding Field Crops 4th eds.* USA (US): Iowa State University Press.
- Pradhan SK, Lothan KB, Jitendriya M. 2005. Studies on gene action and combining ability in basmati rice. *Journal Central European Agriculture*, 7(2): 267-272.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. 2001. *Atlas Arahan Tata Ruang Pertanian Indonesia Skala 1:1.000.000.* Bogor (ID): Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, 37 hlm.
- Rahayu SE, Guhardja E, Ilyas S, dan Sudarsono. 2005. *Polietilena Glikol (PEG) dalam Media In Vitro Menyebabkan Kondisi Cekaman yang Menghambat Tunas Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.).* *Berk. Penel. Hayati.* 11: 39-48.
- Reddy AR, Chaitanya KV, Vivekanandan M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants, *Journal of Plant Physiology*, Vol. 161: 1189-1202.
- Rostini N. 2011. *6 Jurus Bertanam Cabai Bebas Hama dan Penyakit.* Jakarta (ID): Agromedia Pustaka.
- Rubatzky VE, Yamaguchi M. 1999. *Sayuran dunia 3 Prinsip, Produksi, dan Gizi.* Bandung (ID): Penerbit ITB.
- Salisbury FB, Ross CW. 1992. *Plant Physiology.* 4th Ed. California (US): Wadsworth Publishing Company.
- Samaullah MY, Darajat AA. 2001. Toleransi Beberapa Genotipe Padi Gogo terhadap Cekaman Kekeringan. Badan Penelitian Tanaman Pangan Padi. Sukamandi. *J. Penelitian Tanaman Pangan*, Vol. 20(1): 17-23.
- Samouelian A, Cousin I, Tabbagh A, Bruand A, Richard G. 2005. Electrical Resistivity Survey in Soil Science: A Review. *Soil & Tillage Research*, 83:173-193



- Setiadi. 2008. *Bertanam Cabai*. Jakarta (ID): Penebar Swadaya.
- Showemimo FA, Olarewaju JD. 2007. Drought tolerance indices in sweet pepper (*Capsicum annum L.*). *Int. J. Plant Breed. Genet.* 1 (1): 29-33.
- Silitonga TS. 1993. Evaluasi daya gabung padi bulu dan cere. *Balai Pertanian Tanaman Pangan*, 1: 6-11.
- Sinaga R. 2008. Analisis Model Ketahanan Rumput Gajah dan Rumput Raja akibat Cekaman Kekeringan berdasarkan Respons Anatomi Akar dan Daun. *Jurnal Biologi Sumatra*, 2 (1): 17-20.
- Singh RK, Chaudhary. 1979. *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. USA (US): Kalyani Publishers
- Siswanto AB, Sudarman K, Kusumo S. 1995. *Kesesuaian Lahan Untuk Pengembangan Tanaman Cabai*. Siswanto AB, editor. Agribisnis Cabai. Jakarta (ID): Penebar Swadaya.
- Sitompul SM, Guritno B. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press.
- Sobir. 1994. Stabilitas Superiotas Beberapa Genotipe Cabai pada Lingkungan Kering [tesis]. Bogor (ID): Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Spanova M, Daum G. 2011. Squalene-biochemistry, molecular biology, process biotechnology, and applications. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113 (11): 1299-1320.
- Sujiprihati S, Saleh GB, Ali ES. 2001. Combining Ability Analysis of Yield and Related Characters in Single Cross Hybrids of Tropical Maize (*Zea mays L.*). *Sabrao J. Breed. Genet.*, 33: 111-120.
- Subbarao GV, Ito O, Serraj R, Crouch JJ, Tobita S, Okada K, Hash CT, Ortiz R, Berry WL. 2005. *Physiological perspectives on improving crop adaptation to drought –justification for a systematic component-based approach*. In: Pessarakli M (ed) *Handbook of Photosynthesis*, 2nd ed. New York (US): Marcel and Dekker.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2019. *Statistik Indonesia 2019*. Jakarta (ID). Subdirektorat Publikasi dan Kompilasi Statistik. Balai Pusat Statistik.
- Sumarni N. 1996. Budidaya Tanaman Cabai Merah. Di dalam: Duriat AS, Hadisoeganda AW, Soetiarso TA, Prabaningrum L, editor. *Teknologi Produksi Cabai Merah*. Lembang (ID): Balai Penelitian Tanaman Sayuran.
- Syukur M. 2013. Variasi Jumlah Kromosom. *Dalam* Muhamad Syukur dan Sarsidi Sastrosumarjo (Editor). *Sitogenetika Tanaman. Edisi kedua*. Bogor (ID): IPB Press., 294 hal.
- Syukur M, Sujiprihati S, Yunianti R, Kusumah DA. 2010. Evaluasi daya hasil cabai hibrida dan daya adaptasinya di empat lokasi dalam dua tahun. *Jurnal Agronomi*, 38(1): 43-51.
- Syukur M, Sujiprihati S, Yunianti R, Kusumah DA. 2011. Pendugaan Ragam Genetik dan Heritabilitas Karakter Komponen Hasil Beberapa Genotipe Cabai. *J. Agrivigor* 10(2): 148-156, Januari-April 2011.
- Tala'ohu, SH, Sutono Y, Sulaeman, Wiganda S. 2002. Penelitian Teknologi Pengairan Pertanian Lahan Kering. Laporan Akhir Bagian Proyek Penelitian dan Pengembangan Kesuburan Tanah dan Iklim. Balai Penelitian Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Ugherughe PO. 1986. Drought and tropical pasture management. Z. Acker-u. Pflanzenbau. *J. Agron. Crop Sci.*, (157): 13-23.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



- Van Steenis CGGJ. 2005. *Flora*. Jakarta (ID): PT Pradnya Paramita.
- Verslues PE, Ober ES, and Sharp RE. 1998. Root Growth and Oxygen Relation at Low Water Potentials. Impact of Oxygen Availability in Polyethylene Glycole Solution. *Plant Physiol.* 116: 199-206.
- Widodo WD. 2009. *Umur Produktif Cabai*. Jakarta (ID): Penebar Swadaya.
- Yunianti R. 2007. Analisis Genetik Pewarisan Sifat Ketahanan Cabai (*Capsicum annuum* L.) Terhadap Phytophthora capsici Leonian. [Disertasi]. Bogor (ID): Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Zare M, Choukan R, Heravan EM, Bihamta MR, Ordoorkhani K. 2011. Gene action of some agronomic traits in corn (*Zea mays* L.) using diallel cross analysis. *Afr. J. Agric. Res.*, 6(3): 693-703.



RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 19 Desember 1977 sebagai anak kedua dari lima bersaudara, dari pasangan Bapak H. Zahruddin Zen dan Ibu Hj. Ifah Hanifah.

Pendidikan Sarjana Pertanian diperoleh penulis dari Program Studi Pemuliaan Tanaman, Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, lulus pada tahun 2002. Pendidikan Magister diperoleh penulis dari Program Studi Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, lulus pada tahun 2007. Pada tahun 2013 Penulis mendapatkan beasiswa dari Kemenristek-Dikti melalui program Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPP-DN) untuk melanjutkan studi ke program Doktor, pada Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman, Institut Pertanian Bogor.

Penulis bekerja sebagai staf pengajar pada Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten. Bagian dari disertasi ini dalam proses publikasi di jurnal internasional terindeks scopus dengan judul '*Short Communication: Diversity of drought tolerance among 22 chili (*Capsicum annuum*) genotypes at germination stage using polyethylene glycol (PEG) 6000*' (*under review*) dan '*Metabolomics profiling of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) tolerance to drought at vegetative stage*' (*under review*).