

BAB II LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

A.1 Sejarah Tanaman Cabai

Cabai (*Capsicum annum*) merupakan tanaman perdu dari family terong-terongan (Solanaceae) yang banyak dibudidayakan secara luas diseluruh dunia. Tanaman cabai berasal dari Amerika yang daerah penyebarannya meliputi Meksiko, Amerika tengah sampai selatan. Akan tetapi *Capsicum* pertama kali diperkenalkan di Eropa oleh Colombus pada abad ke-14, kemudian pada abad ke-16 Portugis dan Spanyol memperkenalkan Cabai sebagai bumbu di Asia (Bosland dan Vovata, 1999).

Selain digunakan sebagai sayur dan bumbu, cabai juga digunakan sebagai obat-obatan karena memiliki vitamin yang tinggi dan antioksidan yang dapat mencegah kanker. Olerasin dari *Capsicum frutescens* banyak digunakan dalam kedokteran karena bersifat karmitif dan merupakan salah satu stimulan yang kuat, selain itu juga biasa digunakan sebagai obat luar seperti untuk rematik (Purseglove *et al.*, 1981). Selain itu, *capsaicin* yang terkandung dalam cabai dapat mempengaruhi kinerja kelenjar tiroid yang berperan dalam mengontrol laju metabolisme tubuh sehingga dapat membantu menurunkan berat badan (Setright, 1997).

A.2 Botani Tanaman Cabai

Genus *Capsicum* memiliki 25 spesies liar dan 5 spesies budidaya yaitu *C. annum* L, *C. chinensis* Jack, *C. frutescens* L, *C. pubescens* Ruiz & Pavon dan *C. pendulum* Wild, tetapi *C. pendulum* diklasifikasikan kembali menjadi *C. bacatum* var *pandulum* untuk buah yang berukuran besar dan *C. bacatum* var *microcarpum* untuk buah yang berukuran kecil, kemudian dirubah kembali menjadi *C. bacatum* var *bacatum* (Greenleaf, 1986). Menurut Bosland dan Votava (1999) *Capsicum* memiliki susunan taksonomi sebagai berikut:

Kingdom : *Plantae*
Divisi : *Magnoliophyta*

Kelas : *Magnoliopsida*
Ordo : *Solanales*
Famili : *Solanaceae*
Genus : *Capsicum*

Genus *Capsicum* memiliki variasi yang sangat tinggi dari sisi morfologi batang, daun, bunga dan buah. Secara umum *Capsicum* merupakan tanaman setahun tetapi spesies *C. frutescens* dapat menjadi tanaman tahunan. Bentuk tanaman herba, tinggi antara 0.5 sampai 1.5 meter dan memiliki percabangan yang banyak (Poulos, 1994)

Bunga tanaman cabai berbentuk terompet, mempunyai bunga lengkap terdiri dari kelopak, mahkota, benang sari, dan putik. Syukur *et al.*, (2012) menambahkan posisi bunga menggantung dengan panjang bunga biasanya 0,8-1,5 cm, lebar 0,5 cm dan panjang tangkai bunga antara 3-8 cm. Bunga pada *C. annuum* biasanya memiliki warna petal putih kehijauan dengan warna anther biru sampai ungu tetapi pada spesies *C. tovarii* memiliki warna bunga yang berbeda yaitu petal berwarna ungu atau kekuningan pada (Tong dan Bosland, 1999) dan kuning pada *C. bacatum* (Bosland dan Votava, 1999). Setiap nodus hanya mengeluarkan satu bunga pada *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens* (Poulos, 1994) dan *C. tovarii* (Tong dan Bosland, 1999) setiap buku mengeluarkan 2-5 bunga.

Cabai merupakan salah satu tanaman hortikultura utama dari famili *Solanaceae* setelah tomat (Knapp, 2002), merupakan tanaman dikotil, memiliki sistem penyerbukan *self pollinated* (menyerbuk sendiri), tetapi persentase penyerbukan silang pada tanaman ini sangat tinggi (Rohami *et al.*, 2010; Allard, 1960). Besarnya persentase penyerbukan silang pada tanaman cabai sangat bervariasi, dapat mencapai 90% (Barke, 2000), 7-91% (Bhagowati & Changkija, 2009), 11-64% (Krishnamurthy *et al.*, 2013), 56% (Syukur *et al.*, 2012), 6-37% (Kusandriani dan Permadi, 1996), 16 % (Purseglove, 1981). Hal ini diduga sangat tergantung dari jenis cabai, ukuran bunga, posisi putik pada bunga dan vektor. Vektor yang biasa membantu persilangan pada tanaman cabai yaitu *Apis* spp, dan *butterflies moths* (Carr & Davidar, 2015). Posisi dan ukuran stigma sangat

berpengaruh terhadap proses penyerbukan. Pada bunga yang memiliki posisi stigma yang lebih tinggi dari kotak sari biasanya akan terjadi penyerbukan secara silang (*cross polinated*), sedangkan posisi putik (stigma) yang lebih rendah dari serbuk sari cenderung melakukan penyerbukan sendiri. Bunga cabai bersifat protogeni yaitu kepala putik telah reseptik sebelum anthesis. Serbuk sari anthesis biasanya pada saat bunga mekar (Kusandriani dan Permadi, 1996) dan stigma reseptik sebelum serbuk sari terlepas dari anter (kotak sari) (Deleplane dan Mayer, 2000).

Dalam suatu pertanaman cabai, hampir semua varietas lokal dalam pertanaman merupakan populasi yang bersegregasi dengan keseragaman yang bervariasi. Untuk menghindari kegagalan panen dan fluktuasi harga, petani sengaja menanam cabai lebih dari satu varietas dalam satu lahan, biasanya campuran antara varietas berumur genjah dan berumur dalam sehingga persentase persilangan akan cukup besar. Melalui cara tersebut, petani dapat panen dalam jangka waktu yang lebih lama. Harapannya harga rendah pada awal panen dapat diimbangi dengan harga tinggi pada periode-periode panen berikutnya. Akibat dari cara terakhir ini adalah tercemarnya mutu benih secara genetik akibat persilangan antar varietas dan atau secara fisik bila benih pertanaman ini digunakan untuk pertanaman berikutnya. Benih yang berasal dari pertanaman ini disebut benih bersari bebas atau *open-pollinated seeds* (benih OP). Waktu yang paling baik untuk melakukan persilangan tanaman cabai yaitu sebelum pukul 10.00 pagi (Purseglove *et al.*, 1981). Bunga mekar pada pagi hari dan hanya mampu bertahan kurang dari sehari.

Tanaman cabai memiliki variasi bentuk buah yang sangat beragam. Keberagaman buah cabai dapat terlihat dari warna, bentuk, ukuran, rasa dan tingkat kepedasan. Bentuk buah pada *Capsicum* diantaranya *bell*, *Pimento*, *Chery*, *New Mexican*, *Cheyene*, *Paprica* dan *Tabasco* (Bosland dan Vovata, 1999). *C. frutescens* memiliki buah muda berwarna hijau, keunguan dan putih kekuningan, sedangkan buah matang berwarna orange, merah, coklat atau ungu. *Capsicum annum* biasanya memiliki buah muda berwarna hijau atau kekuningan dan merah ketika matang (Puseglove *et al.*, 1981). Secara umum warna biji pada *Capsicum* berwarna putih kekuningan kecuali *C. pubescens* memiliki biji yang berwarna hitam (Bosland dan Vovata, 1999)

A.3. Syarat Tumbuh Tanaman Cabai

Ketinggian suatu daerah menentukan jenis cabai yang akan ditanam. Paprika misalnya, hasilnya akan sangat mengecewakan bila ditanam di daerah dataran rendah dengan suhu udara yang tinggi. Lain halnya dengan cabai besar atau cabai merah. Jenis cabai ini akan lebih sesuai bila ditanam di daerah kering dan berhawa panas walaupun daerah tersebut merupakan daerah pengunungan. Cabai dapat tumbuh dengan baik walaupun walaupun ketinggian daerah tersebut rata-rata mencapai 900 meter di atas permukaan laut.

Curah hujan sangat berpengaruh terhadap keberhasilan produksi buah cabai. Rata-rata semua varietas cabai tidak tahan dengan curah hujan yang tinggi. Curah hujan yang ideal adalah 1.000 mm/tahun. Curah hujan yang rendah menyebabkan tanaman kekeringan dan membutuhkan air untuk penyiraman. Pemilihan musim tanam yang tepat bisa menghindarkan kerusakan tanaman karna curah hujan yang tinggi

Tanaman cabai cocok hidup di daerah dengan kelembapan 70 – 80%, terutama saat pembentukan bunga dan buah. Kelembapan yang lebih dari 80% memacu pertumbuhan cendawan yang berpotensi menyerang dan merusak tanaman. Sebaliknya, iklim yang kering atau kelembapan yang kurang dari 70% membuat cabai kering dan mengganggu pertumbuhan generatifnya, terutama saat pembentukan bunga, penyerbukan, dan pembentukan buah

Tanah merupakan tempat tumbuh tanaman. Oleh karna itu tanah harus subur dan kaya akan bahan organik. Derajat keasaman tanahnya (pH tanah) antara 6,0-7,0, akan tetapi baik kalau pH tanahnya 6,5. Secara umum, cabai menyukai tanah yang gembur dan banyak mengandung unsur hara. Namun, semua jenis tanah di Indonesia relatif bisa dipakai untuk bertanam cabai. Kadar keasaman tanah yang cocok untuk penanaman cabai secara intensif adalah 6-7. Tanah yang pH nya harus dinetralkan terlebih dahulu dengan cara menebarkan kapur pertanian, seperti kapur tanah atau dolomit. Sebaliknya, tanah yang terlalu basa dinetralkan dengan cara menaburkan belereng ke lahan penanaman.

Menurut Prajnanta (2007) cahaya matahari penting bagi tanaman untuk fotosintesis, pembentukan bunga dan pemasakan buah cabai, yang penting dari

matahari adalah intensitas cahaya. Untuk pembungan yang normal, cabai hibrida misalnya memerlukan intensitas cahaya yang cukup banyak. Lama penyinaran yang dibutuhkan tanaman cabai hibrida antara 10-12 jam penyinaran sehari.

A.4 Jenis-Jenis Cabai

Genus *Capsicum* terdiri atas 30 spesies, lima di antaranya telah dibudidayakan, yaitu *Capsicum annuum*, *Capsicum frutescens*, *Capsicum pubescence*, *Capsicum baccatum*, dan *Capsicum chinense*. Di antara lima spesies tersebut, yang paling banyak ditanam di Indonesia adalah *Capsicum annuum* (cabai merah besar dan keriting), kemudian diikuti oleh *Capsicum frutescens* (cabai rawit) (Santika, 1996).

Capsicum annuum dikenal sebagai cabai merah, terdiri atas cabai merah besar, cabai keriting, dan paprika (*Capsicum annuum* var. *grossum*). Cabai besar memiliki bunga berwarna putih dan pada setiap buku terdapat satu kuntum bunga. Permukaan buah cabai rata dan halus, dengan diameter sedang sampai besar dan kulit daging buah tebal. Kadar kapsaisin buah cabai besar umumnya rendah. Buah cabai besar umumnya dipanen setelah berwarna merah, tetapi kadang – kadang juga dipanen ketika buah masih berwarna hijau.

Berbeda dengan cabai besar, cabai kering memiliki bunga berwarna putih atau ungu. Buah muda berwarna hijau atau ungu, permukaan buah bergelombang, diameternya lebih kecil dibandingkan dengan diameter buah cabai besar, sedangkan kulit daging buahnya lebih tipis. Umur panen cabai keriting lebih lama dan buahnya lebih tahan disimpan. Cabai keriting dapat tumbuh di berbagai ketinggian, baik dilahan darat, maupun lahan sawah (Setiadi, 2006).

Paprika (*bell pepper*) memiliki warna yang bervariasi, yaitu kuning, hijau muda, hijau, dan ungu. Buah berbentuk kotak atau lonceng dengan diameter yang besar permukaannya rata. Kulit daging buah tebal, dan rasanya manis (tidak pedas). Biasanya buah dipanen saat masih muda, yaitu ketika masih berwarna hijau atau kuning. Paprika cocok tumbuh di dataran tinggi (Djarwaningsih, 2005).

Cabai Rawit memiliki ukuran buah yang kecil, berwarna putih, kuning, atau hijau ketika masih muda. Bunganya berwarna putih kehijauan. Pada umumnya,

dalam satu ruas terdapat satu kuntum bunga, tetapi seringkali lebih dari satu. Tangkai bunga tegak saat anthesis, tetapi bunganya merunduk, sedangkan tangkai daun pendek. Daging buah umumnya lunak, dengan kadar *kapsaisin* yang tinggi, sehingga rasa buah pedas. Umumnya cabai rawit dipanen ketika buah masih muda, berwarna hijau, putih, atau kuning. Umur panennya lebih panjang daripada *Capsicum annuum* L. Tanaman cabai rawit berumur tahunan dan dapat tumbuh di berbagai ketinggian tempat dan berbagai tipe tanah seperti tanah darat, tanah sawah, dan pantai.

A.5. Respon Tanaman Terhadap Cekaman Kering

Cekaman kekeringan merupakan salah satu ancaman terhadap ketersediaan dan keamanan pangan dunia, karena air menjadi faktor pembatas dalam produksi tanaman. Cekaman kekeringan pada tanaman disebabkan karena kurangnya suplai air di daerah perakaran atau permintaan air yang berlebihan oleh daun karena laju evapotranspirasi melebihi laju absorpsi air oleh akar tanaman, walaupun air tanah dalam keadaan cukup (Levitt, 1980). Cekaman kekeringan memberikan pengaruh yang sangat buruk terhadap produksi tanaman. Perubahan iklim global diprediksi memperparah kemungkinan terjadinya cekaman kekeringan, hal ini karena perubahan iklim diprediksi menyebabkan perubahan curah hujan yaitu perubahan curah hujan yang terjadi secara eratik atau malah menyebabkan kemarau panjang (Allen dan Ingram, 2002).

Secara fisiologis air memiliki peran penting dalam tiap tahap metabolisme tanaman. Kekurangan air akan menurunkan aktivitas metabolisme, mengganggu pertumbuhan dan perkembangan sel tanaman dan menurunkan aktivitas fotosintesis, transpirasi, konduktivitas stomata, translokasi unsur hara dan asimilat pada tanaman (Marschner, 1995; Gardner *et al.*, 1991; Taiz dan Zeiger, 2002; Hamad *et al.*, 2004; Gomes-Laranjo *et al.*, 2006; Ou dan Zou, 2012; Sam-Amoah *et al.*, 2013; Panella *et al.*, 2014).

Cekaman kekeringan pada tahap pertumbuhan awal tanaman cabai, menurunkan daya kecambah, pertumbuhan tanaman dan kandungan klorofil (Shika

et al., 2013). Defisit air pada tanaman akan menyebabkan penutupan stomata yang terjadi karena penurunan turgor sel dan akan menurunkan konsentrasi CO₂ seluler (Niu *et al.*, 2010), selanjutnya dehidrasi yang terjadi pada mesofil daun menyebabkan kerusakan organ-organ fotosintesis, menurunkan produksi karbohidrat (dari fotosintesis) dan absorpsi ion-ion mineral dari dalam tanah yang selanjutnya menghambat pertumbuhan batang dan daun (Neumann, 1995; Achard *et al.*, 2006).

Penurunan fotosintesis akan mengganggu i) sistem respirasi, transport elektron, sintesis ATP pada mitokondria (Atkin dan Macherel, 2009) ii) menginduksi akumulasi metabolit sekunder (Zhang *et al.*, 1999; Zamudio-Moreno *et al.*, 2014; Shahriari *et al.*, 2014; Phimchan *et al.*, 2012) serta iii) menginduksi ekspresi gen dan sintesis protein tertentu (Lawlor dan Tezara, 2009; Kang *et al.*, 2002; Nakashima *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2010). Hamad *et al.*, (2004) menjelaskan pada saat kekurangan air terjadi peningkatan asosiasi *peroxidase activity* dinding sel dan pH pada *Xilem sap* sebesar 10 kali lipat, hal inilah yang diduga menyebabkan perpanjangan sel terhambat.

Kemampuan tanaman untuk beradaptasi terhadap cekaman kekeringan tergantung pada intensitas cekaman dan periode cekaman, fase pertumbuhan dan genotipe tanaman (Hamad *et al.*, 2004; Kalefetoglu dan Ekmekci 2005; Kusvuran 2012; Ou dan Zou, 2012). Fase produktif dan polinasi merupakan stadia pertumbuhan yang sangat peka terhadap cekaman kekeringan pada tanaman cabai (Dagdelen *et al.*, 2004; Ismail, 2010). Cekaman kekeringan yang terjadi pada masa pembungaan menurunkan jumlah bunga yang terbentuk sebesar 28-32% dan menghambat pembentukan buah (Dagdelen *et al.*, 2004; Gençoğlu *et al.*, 2006), sedangkan cekaman yang terjadi antara periode pembungaan dan perkembangan buah menurunkan berat buah, jumlah buah/tanaman dan panjang buah serta produksi total (Jaimez *et al.*, 2000; Dagdelen *et al.*, 2004; Gençoğlu *et al.*, 2006; Sam-Amoah *et al.*, 2013). Cekaman kekeringan yang berlangsung secara terus menerus menurunkan bobot buah (Antony dan Singandhupe, 2004; Costa dan Gianquinto, 2002; Jaimez *et al.*, 2000; Delfine *et al.*, 2001; Sezen *et al.*, 2006). Hal ini karena kekurangan air menurunkan jumlah bunga yang terbentuk, menurunkan

viabilitas polen, merusak pistil dan berdampak terhadap jumlah buah yang terbentuk (Falcetti *et al.*, 1995). Tetapi cekaman diberikan secara terus menerus pada *Capsicum frutescens* dengan berbagai tingkat kebutuhan air (100%, 80%, 60% dan 40%) tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tinggi tanaman dan luas daun, tetapi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah buah yang terbentuk, ukuran buah, berat buah dan produksi total (Owusu-Sekyere *et al.*, 2010). Penggunaan air 85% kapasitas lapang menurunkan panen sebesar 28,29%, tetapi penggunaan air sebesar 70% kapasitas lapang menurunkan produksi hingga 40% (Dagdelen *et al.*, 2004). Selanjutnya Owusu-Sekyere *et al.* (2010) menambahkan kekurangan 20% air dari kebutuhan pada tanaman cabai mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, pembentukan buah dan produksi.

Selain perubahan fisiologi dan morfologi cekaman kekeringan juga meningkatkan kandungan metabolit sekunder pada tanaman seperti yang dilaporkan oleh Sung *et al.*, (2005) bahwa cekaman kekeringan yang diberikan pada saat 10 hari setelah tanaman berbunga hingga 50 hari setelah berbunga menghasilkan *Capsaicin* 3.84-4.58 kali lipat lebih tinggi dibandingkan tanaman kontrol. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Phimchan *et al.* (2012) dan Zamudio-Moreno *et al.* (2014) dimana cabai yang mengalami stres kering tidak hanya mempengaruhi karakter agronomi dan fisiologi tetapi juga meningkatkan kandungan *Capsaicinoid*. Selain *capsaicinoid*, kandungan prolin juga meningkat pada akar dan daun tanaman cabai yang mengalami cekaman kekeringan (Sayed, 1992; Shahriari *et al.*, 2014; Mitra, 2001). Prolin banyak dilaporkan terinduksi oleh cekaman kekeringan, salinitas dan suhu tinggi. Prolin berfungsi sebagai *osmoprotektan/osmoregulator* agen pelindung bagi enzim-enzim yang terdapat didalam sitoplasma atau membran sel (Fukai dan Cooper, 1995) pada sel tanaman. Akumulasi prolin pada sel menyebabkan kelayuan pada daun berkurang. Beberapa laporan menyebutkan prolin banyak terakumulasi pada daun dan akar saat tanaman mengalami dehidrasi, yang merupakan respon terhadap stres kekeringan (Kadir, 2010; Efendi dan Azrai, 2010; Khaerana *et al.*, 2008; Ridwan *et al.*, 2005; Hapsoh, 2005; Mitra 2001). Selain *Capsaicin* dan prolin, beberapa metabolit lainnya yang berfungsi sebagai *osmoregulator* yaitu “*compatible solute*” seperti *fructan*,

trehalose, *polyol*, *poliamine*, dan *gliserbetain* didalam sel yang bertujuan untuk menurunkan potensial osmotik selama terjadi kekurangan air (Mitra, 2001), sehingga retensi air dan sel turgor meningkat (Neumann, 1995; Achard *et al.*, 2006).

Selain “*compatible solute*” ABA (asam absisat) memiliki peran penting sebagai kontrol fisiologis dan molekular terhadap toleransi tanaman pada cekaman kering dan cekaman abiotik lainnya (Jakoby *et al.*, 2002; Mundy *et al.*, 1990; Kang *et al.*, 2002; Oh *et al.*, 2009; Nakashima *et al.*, 2009). Pada saat terjadi peningkatan ABA *Responsive Element Binding Proteins/factors* (AREB/ABF), pada *Arabidopsis* mengakibatkan peningkatan respon ABA, yang ditandai dengan penutupan sel penjaga, dan pengurangan laju transpirasi (Kang *et al.*, 2002), gen ini terekspresi akibat dari salinitas dan dehidrasi pada jaringan vegetatif tetapi tidak terjadi pada benih. Selanjutnya Oh *et al.*, (2005) melaporkan over ekspresi ABF pada tanaman padi menyebabkan daun menggulung, layu dan memiliki nilai Fv/Fm yang tinggi setelah mengalami kekurangan air selama 4 hari. Fujita *et al.*, (2005) melaporkan dalam Nakasima *et al.*, (2009) bahwa over ekspresi dari berbagai gen yang tergolong dalam kelompok AREB meningkatkan Hypersensitif ABA dan berimplikasi terhadap peningkatan ketahanan terhadap kekeringan. ABA diproduksi pada akar tanaman yang mengalami cekaman kering dan memberikan sinyal kepada tajuk untuk menutup stomata sehingga tanaman dapat mengoptimalkan penggunaan air pada kondisi tercekam (Raghavendra *et al.*, 2010; Tardieu, 1997; Richards, 1997).

A. 6 Mekanisme Adaptasi Tanaman Terhadap Cekaman Kering

Sifat tahan kekeringan yang dimiliki oleh suatu genotipe selalu berkaitan dengan perubahan-perubahan morfologis dan fisiologis sebagai cara adaptasi pada kondisi kekeringan. Sifat-sifat tanaman baik morfologis maupun fisiologis dapat digunakan sebagai dasar penilaian sifat ketahanan terhadap kekeringan (Soemartono, 1985; Sammons *et al.*, 1980). Tanaman tertentu mampu beradaptasi pada kondisi potensial air yang rendah walaupun dengan pertumbuhan yang terbatas (Ramanjulu dan Bartels, 2002). Adaptasi pada kondisi defisit air dilakukan tanaman dengan cara mengakumulasi air untuk menghindar (*escape*) dari cekaman

kekeringan. Tetapi tanaman yang toleran terhadap kering umumnya mampu mengurangi fungsi metabolisme dan akan meningkat kembali ketika potensial air sel tercukupi (Bartels, 2005). Beberapa faktor yang mampu mempertahankan turgor sel adalah (1) penurunan potensial osmotik, (2) kemampuan mengakumulasi zat-zat terlarut, (3) meningkatkan elastisitas sel/jaringan yang tinggi, (4) ukuran sel yang lebih kecil (Hale and Orcutt, 1987; Terdieu, 1997).

Secara alami tanaman memiliki mekanisme adaptasi terhadap cekaman kekeringan. Beberapa mekanisme adaptasi tanaman pada saat mengalami defisit air yaitu *drought escape*, *dehydration avoidance*, *dehydration tolerance*, dan *drought recovery*. Untuk mempertahankan hidupnya seringkali tanaman menggunakan lebih dari satu mekanisme ketahanan (Mitra, 2001; Fukai dan Cooper, 1995).

1. ***Drought escape*** adalah kemampuan tanaman untuk menyelesaikan siklus hidupnya sebelum adanya cekaman. Mekanisme ini meliputi perkembangan fenologi yang cepat (umur berbunga dan umur panen yang lebih cepat), daun yang menggulung, perkembangan plastisitas (variasi dalam periode pertumbuhan bergantung pada defisit air), dan remobilisasi asimilat pre-anthesis ke biji (Mitra, 2001; Fukai dan Cooper, 1995).
2. ***Dehydration avoidance*** merupakan kemampuan tanaman untuk memelihara potensial air jaringan tetap tinggi meskipun tanaman dalam keadaan kekurangan air, dengan cara sel dan jaringan dengan menurunkan potensial air melalui akumulasi solut seperti gula dan prolin memperbaiki serapan air, penyimpanan dalam sel tanaman dan mengurangi penggunaan air. Pada mekanisme ini biasanya tanaman mempunyai kemampuan untuk meningkatkan sistem perakaran, regulasi stomata, pengurangan absorpsi radiasi dengan pembentukan lapisan lilin, bulu yang tebal dan penurunan permukaan evapotranspirasi melalui penyempitan daun serta pengguguran daun tua.
3. ***Dehydration tolerance***, yaitu kemampuan tanaman untuk menjaga tekanan turgor sel dengan menurunkan potensial airnya melalui akumulasi solut seperti gula, asam amino dan prolin. Respon fisiologi dan morfologi

tanaman kedelai yang tahan terhadap cekaman kekeringan adalah dengan adanya peningkatan bobot kering akar dan panjang akar, peningkatan kandungan prolin dan penurunan potensial osmotik daun (Hamim *et al.*, 1996; Ashri, 2006; Lobato *et al.*, 2008), meningkatnya konsentrasi asam absisat (ABA) (Levit 1980; Gardner *et al.*, 1991; Taiz dan Zeiger, 2002), rasio akar tajuk yang tinggi pada tanaman kedelai (Koesno, 2000; Benyamin dan Nielsen, 2006) serta peningkatan berat kering akar pada kacang tanah (Puangbut *et al.*, 2009; Songsri *et al.*, 2009). Selain itu juga terjadi peningkatan jumlah rambut akar yang akan meningkatkan kemampuan tanaman untuk menyerap air (Vasellati *et al.*, 2001).

4. ***Drought recovery*** adalah suatu mekanisme pemulihan ketika tanaman mendapatkan air yang cukup setelah cekaman terjadi. Mekanisme ini biasanya terjadi apabila tanaman mengalami cekaman kekeringan pada fase pertumbuhan vegetatif. Beberapa tanaman dilaporkan mampu recovery setelah mengalami cekaman kering. Hal ini berkaitan dengan kemampuan tanaman untuk mempertahankan daun tetap hijau pada saat mengalami cekaman (Fukai dan Cooper, 1995).

A.7 Strategi Pemuliaan Cekaman Kering

Pemuliaan tanaman adalah suatu kegiatan yang bertujuan untuk mendapatkan tanaman yang lebih baik yaitu diantaranya tanaman yang lebih efisien dalam penggunaan unsur hara, tahan/toleran terhadap cekaman biotik dan abiotik. Untuk tujuan tersebut, pemulia tanaman harus mengembangkan idiotipe varietas tanaman yang akan dikembangkan. Idiotipe inilah yang nantinya akan menjadi kriteria seleksi dalam proses seleksi.

Cekaman abiotik seperti cekaman suhu tinggi dan kekeringan merupakan salah satu faktor pembatas produksi tanaman cabai. Sehingga untuk meningkatkan produksi dilahan-lahan marjinal hanya dapat dilakukan melalui 1) perbaikan potensi hasil, 2) perbaikan daya adaptasi tanaman terhadap cekaman biotik dan resistensi terhadap cekaman biotik 3) pengembangan teknik budidaya yang berbasis

pada pengetahuan fisiologi dan ekofisiologi tanaman. Ketiga metode tersebut harus saling bersinergi untuk meningkatkan hasil yang diinginkan (Soepandi, 2014).

A.7.1 Keragaman Genetik.

Keragaman dan koleksi plasmanuftah merupakan kekayaan genetik yang wajib ada dalam mensukseskan kegiatan pemuliaan. Keragaman genetik dapat menurun drastis dengan budidaya varietas unggul secara intensif, hal ini akan mendesak varietas varietas lokal terancam. Varietas lokal dari sisi produksi biasanya memiliki produktivitas yang rendah, tetapi seringkali varietas lokal memiliki beberapa keunggulan seperti toleransi terhadap lahan-lahan marjinal seperti kekeringan, salinitas, tahan terhadap serangan hama dan penyakit serta efisien dalam penggunaan unsur hara, sehingga sangat penting untuk mengamankan plasmanuftah lokal tersebut dalam bentuk koleksi yang potensi genetiknya masih belum tergali.

Keragaman genetik suatu tanaman dapat diperoleh melalui beberapa cara yaitu: 1) eksplorasi pada sentra sentra produksi, 2) introduksi yaitu mendatangkan plasmanuftah dari daerah lain atau negara lain, 3) Hiridisasi baik secara konvensional maupun melalui bioteknologi melalui fusi protoplas dan 4) Mutasi baik itu mutasi secara fisik maupun mutasi yang dilakukan secara kimia. Keragaman genetik cabai secara umum sangat luas, hal ini karena sistem penyerbukan yang dimiliki oleh tanaman cabai, dimana walaupun tanaman ini memiliki sistem penyerbukan sendiri tetapi persentase penyerbukan silangnya sangat tinggi.

A.7.2 Kriteria Seleksi

Pengembangan metode seleksi dan kriteria seleksi yang tepat merupakan hal yang sangat penting dalam menunjang keberhasilan pemuliaan tanaman cekaman kering, pemilihan metode dan kriteria seleksi yang kurang tepat akan menghambat program pemuliaan. Berdasarkan hal tersebut sangat penting menetapkan tujuan pemuliaan, metode dan kriteria seleksi yang digunakan, lingkungan seleksi, waktu pemberian cekaman dan rancangan percobaan yang

digunakan (Bidinger, 2002). Produksi/hasil panen seringkali memberikan hasil yang bias pada lingkungan yang tercekam, karena hasil dipengaruhi banyak faktor seperti faktor biotik dan abiotik (Austin, 1993) dan dikontrol oleh banyak gen serta pengaruh lingkungan yang kuat, sehingga seleksi berdasarkan hasil pada lingkungan yang tercekam kurang dianjurkan karena memiliki nilai heritabilitas yang rendah dan nilai kemajuan seleksi yang rendah (Soepandi, 2014).

Karakter fisiologi banyak dijadikan sebagai kriteria seleksi terhadap cekaman lingkungan, terutama pada kemampuan dan mekanisme fisiologi adaptasi tanaman terhadap cekaman yang diberikan, sehingga pemahaman tentang fisiologi tanaman sangat dibutuhkan dalam pengembangan, efisiensi dan efektivitas program pemuliaan tanaman cekaman. Menurut Austin (1993) dalam Soepandi (2014) agar suatu karakter fisiologi dapat dijadikan sebagai kriteria seleksi, minimal harus memenuhi beberapa kriteria yaitu: 1) Harus terdapat keragaman yang diwariskan dari karakter tersebut, 2) Karakter tersebut harus lebih murah dan lebih mudah diamati dibandingkan hasil panen, 3) harus terdapat korelasi genetik yang tinggi antar karakter tersebut dengan hasil panen pada keadaan tercekam, 4) faktor-faktor yang mempengaruhi karakter tersebut harus dapat dipahami dan dikendalikan. Menurut Banziger *et al.* (2000) karakter yang digunakan untuk seleksi toleransi sebaiknya (a) berkorelasi dengan hasil, (b) sebagai penyebab yang berkaitan terjadinya penurunan hasil, (c) stabil bila diukur dalam periode tertentu, (d) mudah dan murah untuk diukur.

Banyaknya mekanisme toleransi yang berhasil diidentifikasi menyebabkan anggapan bahwa mekanisme toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan merupakan karakter yang kompleks, sehingga sulit untuk diperbaiki dalam pemuliaan tanaman (Soepandi, 2014), tetapi Blum (2005) menyatakan bahwa toleransi tanaman terhadap kekeringan bukanlah karakter yang kompleks, karena semua karakter yang mengatur status air pada tanaman merupakan karakter *konstitutif* dan bukan karakter adaptasi. Karakter *konstitutif* adalah yang selalu muncul (ada/tidak ada cekaman) atau tidak tergantung dengan cekaman yang diberikan seperti tipe pertumbuhan akar, anatomi daun (berlilin, ada atau tidaknya bulu dan warna daun), indeks luas daun yang lebih kecil dapat dijadikan sebagai

kreteria seleksi toleransi terhadap kering. Karakter adaptasi adalah karakter yang akan muncul jika terinduksi oleh cekaman seperti akumulasi *compatible solute* (gula, prolin, ion kalium). Blum (2005) menyatakan bahwa karakter konstitutif lebih berperan dibandingkan karakter adaptasi terhadap toleransi tanaman pada cekaman kering, akan tetapi penggunaan penggunaan sejumlah kriteria seleksi secara simultan dalam suatu indeks seleksi dapat digunakan (Soepandi, 2014). Penggunaan indeks toleransi yaitu nisbah hasil pada kondisi tercekam dengan kondisi optimal banyak digunakan sebagai kriteria seleksi, karena tujuan akhir dari program pemuliaan tanaman adalah hasil (Mitra, 2001).

Beberapa kriteria seleksi ketahanan tanaman cabai terhadap kering yaitu, potensial air daun yang menyebabkan perubahan karakter fisiologi tanaman seperti pertumbuhan, dan potensi hasil, selain itu rasio akar terhadap tajuk dan luas daun merupakan karakter yang baik untuk toleransi tanaman terhadap cekaman kering, karena kedua karakter tersebut berkorelasi dengan tingkat cekaman dan komponen hasil (Phimchan *et al.*, 2012). Selain itu pengembangan kriteria seleksi dini terhadap kultivar toleran kering juga dilakukan pada periode kecambah dimana semakin kecil potensial air yang diberikan menurunkan daya kecambah hingga 80% dan meningkatkan kandungan proline (Shahriari *et al.*, 2014).

A.7. 3 Lingkungan Seleksi

Selain kriteria seleksi yang digunakan, lingkungan seleksi yang tepat terhadap cekaman juga penting untuk diperhatikan dalam pemuliaan tanaman cekaman. Kekeringan merupakan cekaman yang sulit diduga karena tidak terjadi sepanjang tahun, serta intensitas cekaman yang beragam antar lokasi. Reynold *et al.*, (2004) membagi tiga pola cekaman kekeringan pada tanaman padi yaitu 1) cekaman yang terjadi pasca-anteses, 2) cekaman kekeringan yang terjadi sebelum *anthesis* dan 3) kekeringan yang terjadi secara terus menerus (seumur hidup). Ketiga lingkungan tersebut memiliki tujuan dan kriteria seleksi yang berbeda. Seperti membuka dan menutupnya stomata hanya efektif jika target berada pada cekaman yang sangat kering, sedangkan cekaman yang moderat dan berinterval tidak efektif (Tardieu *et al.*, 2004). Selanjutnya karakter umur genjah pada tanaman padi

hanya efektif jika cekaman diberikan pada periode pasca-entesis tetapi tidak efektif jika cekaman diberikan sepanjang hidup tanaman (Lafitte *et al.*, 2002). Hal ini juga dilaporkan pada tanaman cabai, cekaman yang diberikan seumur hidup tidak berpengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman dan luas daun, tetapi berpengaruh terhadap jumlah buah, berat buah dan bobot buah (Owusu-Sekyere *et al.*, 2010; Sezen, *et al.*, 2006) tetapi cekaman pada periode pembuangaan menurunkan jumlah bunga yang terbentuk dan menghambat pembentukan buah (Sam-Amoah *et al.*, 2013; Gençoğlu *et al.*, 2006; Dagdelen *et al.*, 2004; Jaimez *et al.*, 2000). Lingkungan percobaan yang terkontrol (lingkungan buatan) lebih efektif untuk kemajuan seleksi terhadap toleransi tanaman tercekam kekeringan. Lingkungan yang terkontrol ini lebih baik karena memberikan dugaan terhadap GxE, dan nilai heritabilitas karakter toleransi yang lebih baik (Atkin *et al.*, 2004).

B. Kerangka Berfikir

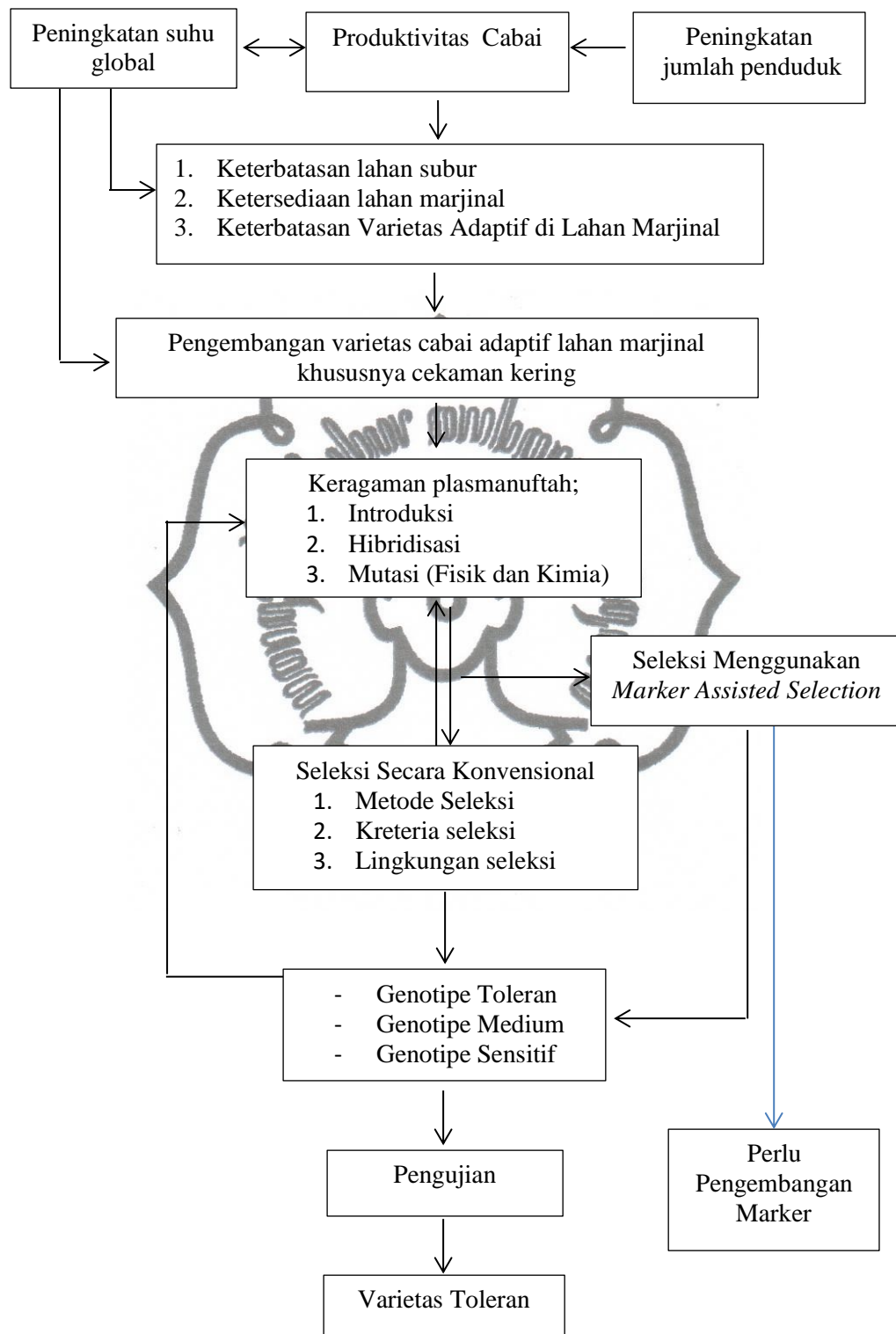
Cabai merupakan komoditas hortikultura yang penting dan bernilai ekonomi tinggi. Pengembangan agribisnis cabai mempunyai keunggulan komparatif dan kompetitif. Air merupakan salah satu faktor pembatas dalam produksi cabai. Pada saat kekurangan air terjadi penurunan produksi yang sangat besar. Pada saat tanaman kekurangan air akan terjadi penghambatan pertumbuhan, penurunan kadar air sel, tekanan turgor, menghambat penyerapan unsur hara mengganggu metabolisme dan mengganggu distribusi asimilat antar organ tanaman, menurunkan transpirasi dan laju fotosintesis hingga kegagalan reproduksi (Jaimez *et al.*, 1999; Aladonela & Madramootoo, 2013; Shangguan *et al.*, 2000; Depascale *et al.*, 2003; Zain, 2014; Osakabe *et al.*, 2014; Ahmadikhah and Marufinia, 2016; De-Pascale *et al.*, 2003; Lismar *et al.*, 2012; Jaimez *et al.*, 1999). Untuk menjaga ketersediaan dan kesinambungan produksi pengembangan tanaman cabai yang mampu memproduksi baik pada kondisi tercekam perlu dilakukan. Pengembangan kultivar tanaman baru toleran terhadap cekaman kekeringan merupakan tantangan utama bagi para pemulai tanaman dalam menjaga keamanan pangan.

Seleksi merupakan salah satu tahapan pemuliaan dalam rangka pengembangan tanaman. Agar seleksi dapat dilakukan secara efektif dan efisien sangat penting diketahui (1) kapan seleksi sebaiknya dilakukan? (2) kriteria seleksi mana yang efektif dan efisien (mudah, murah dan cepat) pada lingkungan tercekam? (3) Indeks seleksi mana yang paling baik digunakan dalam pengembangan cabai toleran kering dengan kondisi lingkungan yang diujikan? karena genotipe berbeda, fase pertumbuhan berbeda pada lingkungan yang sama akan menghasilkan respon yang berbeda, apalagi jika lingkungannya berbeda, sehingga sangat penting dilakukan kajian terhadap genotipe yang diinginkan konsumen pada lokasi/lingkungan yang ingin dikembangkan.

Dalam rangkaian kegiatan pemuliaan tanaman cabai yang adaptif terhadap cekaman kering penting diketahui (1) respon tanaman terhadap cekaman kering pada fase pertumbuhan yang berbeda, sehingga diketahui fase mana yang paling kritis terhadap kekeringan dan tepat digunakan untuk seleksi (2) mempelajari kriteria apa yang paling berhubungan dan memiliki pengaruh langsung terhadap hasil pada kondisi normal dan kondisi tercekam, sehingga didapatkan kriteria seleksi yang ideal. (3) melakukan skrining terhadap keragaman plasmanuftah cabai pada fase yang tepat (hasil tahap satu) dengan kriteria seleksi yang diperoleh dari tahap 2) untuk mendapatkan kandidat genotipe yang toleran, dan sensitif terhadap cekaman kering, sehingga kedepan dapat digunakan untuk pengembangan cabai toleran kering. Bagan alur pikir dapat dilihat pada Gambar 1

C. HIPOTESIS

1. Terdapat fase pertumbuhan terbaik untuk seleksi terhadap cekaman kering pada tanaman cabai merah keriting
2. Terdapat karakter yang ideal sebagai kriteria seleksi cabai merah berproduksi tinggi dilahan kering.
3. Terdapat beberapa genotipe yang toleran terhadap cekaman cekaman kering



Gambar 1. Bagan Kerangka berpikir