

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Taksonomi Cabai Besar

Cabai dapat diklasifikasikan sebagai berikut, kingdom Plantae, subkingdom Tracheobiota (tumbuhan berpembuluh), super-divisi Spermatophyta (tumbuhan berbiji), divisi Magnoliophyta (tumbuhan berbunga), kelas Magnoliopsida (dikotiledon), subkelas Asteridae, ordo Solanels, famili Solanaceae, genus *Capsicum* L., spesies *Capsicum annum* L. (Lagu dan Kayanja, 2013).

2.2 Morfologi Cabai Besar

Spesies *Capsicum annum* L. termasuk kultivar pada tipe jalapeno, pablano, anaheim, ancho, bell, big jim, cayenne, dan Serrano yang awalnya dideskripsikan oleh Linnaeus kedalam spesies *Plantarum* (Eshbaugh, 2012). Adapun morfologi tanaman cabai besar ialah sebagai berikut:

a. Akar

Cabai tidak memiliki akar tunggang sejati karena akar tunggang pada tanaman ini merupakan beberapa akar yang tumbuh ke bawah dan ukurannya lebih besar dari akar lain, disebut akar tunggang semu. Selebihnya akar cabai didominasi oleh akar-akar serabut (Suriana, 2013). Jika tanaman tumbuh menahun, panjang akar dapat mencapai 1 meter ke dalam tanah (Pitojo, 2003).

b. Batang

Tumbuhan berupa setengah perdu dengan tinggi mencapai 45-100 cm, biasanya berumur hanya semusim (Djarwaningsih, 2005). Membentuk banyak percabangan diatas permukaan tanah sehingga habitus tanaman relatif rimbun saat daun masih muda (Pitojo, 2003). Batang utama tegak dan pangkalnya berkayu dengan diameter 1,5-2,5 cm sedangkan batang percabangan berwarna hijau dengan diameter mencapai 0,5-1 cm. Percabangan bersifat dikotomi atau menggarpu, tumbuhnya cabang beraturan secara berkesinambungan (Hewindati, 2006). Batang ditumbuhi bulu-bulu halus berwarna putih (Suriana, 2013). Tanaman cabai memiliki batang yang dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu batang utama dan percabangan (batang sekunder). Panjang batang utama berkisar 20-28 cm sedangkan panjang percabangan berkisar 5-7 cm (Nawangsih, 2003).

c. Daun

Daun cabai berdaun tunggal sederhana, terletak berselang dan tidak memiliki daun penumpu (Pitojo, 2003). Daun berbentuk memanjang oval dengan ujung meruncing atau diistilahkan dengan *oblongus acutus*, tulang daun menyirip dilengkapi dengan urat daun. Bagian permukaan daun bagian atas berwarna hijau tua, sedangkan permukaan bawah berwarna hijau muda atau hijau terang (Hewindati, 2006). Panjang daun berkisar antara 3-11 cm dan lebar 1-5 cm (Suriana, 2013).

d. Bunga

Bunga cabai umumnya merupakan bunga tunggal dan terletak hampir di setiap ruas (Syukur, 2012). Bunga muncul dari ketiak tangkai daun, berkedudukan menggantung atau berdiri. Bunga tanaman cabai berbentuk terompet kecil, berwarna putih, tetapi ada juga yang berwarna ungu. Termasuk kedalam bunga sempurna karena terdiri atas tangkai bunga, dasar bunga, kelopak bunga, mahkota bunga, alat kelamin jantan dan alat kelamin betina. Bunga cabai disebut hermaphrodit karena alat kelamin jantan dan alat kelamin betina berada dalam satu bunga yang sama (Hewindati, 2006). Diameter bunga berkisar antara 5-20 mm (Suriana, 2013).

a. Buah

Buah cabai besar adalah buah buni (Pitojo, 2003). Buah bervariasi dalam ukuran, bentuk, warna dan kepedasan. Bentuk buah antara lain seperti garis, kerucut, tabung memanjang, lonceng ataupun berbentuk bulat (Djarwaningsih, 2005). Umumnya buah berwarna hijau atau hijau tua dan akan berubah menjadi kuning hingga merah, merah tua, bahkan merah gelap mendekati ungu (Suriana, 2013).

b. Biji

Biji biasanya berwarna kuning pucat (Djarwaningsih, 2005). Bijinya tertutup oleh bakal buah sehingga termasuk dalam golongan tumbuhan berbiji tertutup (Prajnanta, 2007). Biji menempel pada ampelur berwarna putih, bentuk biji tidak beraturan dan keras dengan ukuran diameter berkisar antara 1-3 mm dan ketebalan antara 0,1-1 mm (Suriana, 2013). Biji berbentuk bulat, pipih, dan ada bagian sedikit runcing.

2.3 Heritabilitas

Heritabilitas adalah rasio ragam genotip dengan total ragam fenotip suatu karakter. Hal ini menggambarkan seberapa jauh fenotip yang tampak merupakan refleksi dari genotip. Heritabilitas dibedakan menjadi heritabilitas arti luas dan sempit (Syukur, 2012). Heritabilitas tipe pertama didasarkan dari rasio keragaman genetik total dengan keragaman fenotip total yang disebut dengan *broad sense heritability* (h_b^2) atau heritabilitas arti luas, sedangkan tipe kedua yaitu proporsi keragaman gen aditif dengan keragaman fenotip yang disebut dengan *narrow sense heritability* (h_n^2) atau heritabilitas arti sempit (Kearsey dan Pooni, 1996; Sesardic, 2005). Dari beberapa tulisan, terdapat perbedaan penulisan simbol untuk heritabilitas, antara lain h^2 untuk heritabilitas arti sempit dan H untuk heritabilitas arti luas (Holland *et al.*, 2003; Acquaah, 2012), h^2 untuk heritabilitas arti sempit dan H^2 untuk heritabilitas arti luas (Hartl dan Jones, 1998).

Heritabilitas menjadi angka yang berguna karena memungkinkan kita untuk memprediksi bagaimana populasi akan menanggapi suatu seleksi. Pengetahuan tentang heritabilitas penting untuk seleksi berdasarkan perbaikan karena menunjukkan tingkat transmisibilitas dari suatu karakter ke generasi mendatang (Ullah, *et al.*, 2011). Tidak bisa dikatakan suatu karakter mutlak ditentukan oleh faktor genetik atau lingkungan. Faktor genetik tidak akan memperlihatkan karakter yang dibawanya, kecuali adanya faktor lingkungan yang diperlukan, begitupun sebaliknya (Syukur, 2012). Heritabilitas yang bernilai nol bukan berarti bahwa sifat tidak terpengaruh oleh gen. Heritabilitas nol berarti bahwa tidak ada varians aditif dalam populasi dan lingkungan, sehingga varians fenotip merupakan pengaruh lingkungan dan genetik non-aditif (Conner dan Hartl, 2004).

Aplikasi utama heritabilitas adalah 1) untuk menentukan apakah suatu sifat akan bermanfaat dari program pemuliaan, 2) untuk menentukan strategi seleksi yang paling efektif untuk digunakan dalam program pemuliaan, 3) untuk memprediksi kemajuan dari seleksi (Acquaah, 2012). Besarnya nilai heritabilitas dipengaruhi oleh beberapa faktor. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi diantaranya ialah karakteristik populasi, sampel genotip, generasi, metode perhitungan, seberapa luasnya evaluasi genotip adanya ketidakseimbangan pautan yang terjadi, dan tingkat ketelitian (Fehr, 1987 ; Sjamsudin, 1990).

2.4 Korelasi antar Karakter

Sampai saat ini banyak yang mengasumsikan bahwa karakter-karakter individu diturunkan secara independen. Hal tersebut tidak sepenuhnya benar dan ada beberapa pengecualian. Banyak karakter-karakter yang ditemukan menunjukkan hubungan yang ringan hingga kuat terhadap karakter lain (Kearsey dan Pooni, 1996). Korelasi berguna untuk menganalisis sifat pada tanaman, tapi pada umumnya korelasi tidak memperhatikan faktor sebab dan akibat. Korelasi hanya menjelaskan faktor dari sifat tersebut mempunyai perubahan yang masing-masing dapat dicari kerapatannya (Singh dan Chaudhary, 1979).

Analisis korelasi berkenaan dengan upaya mempelajari keeratan hubungan antar variabel. Dengan demikian dalam analisis korelasi tidak diperlukan pembeda antara variabel terikat dan variabel bebas. Sehingga analisis korelasi dapat dipergunakan untuk menentukan besarnya keeratan hubungan antara (a) variabel terikat dengan variabel terikat, (b) variabel terikat dengan variabel bebas, dan (c) variabel bebas dengan variabel bebas. Sebuah korelasi positif menunjukkan bahwa peningkatan nilai-nilai satu variabel menyebabkan peningkatan variabel lain, sedangkan korelasi negatif menunjukkan bahwa peningkatan nilai dari satu variabel mengakibatkan penurunan variabel lain (Freeman dan Julious, 2010).

Besarnya nilai peubah Y adalah bebas, tidak terkait dengan besarnya nilai peubah X, begitupun nilai peubah X adalah bebas, tidak terkait dengan besarnya nilai peubah Y. Korelasi biasanya dilambangkan dengan huruf r , ukuran nilai bervariasi dari -1 sampai $+1$, dengan 0 menunjukkan tidak ada hubungan yang linear (Government Accounting Office, 1992). Patel (2009) menjelaskan bahwa semakin dekat korelasi yaitu -1 atau 1 maka ada hubungan yang kuat antara variabel. Misalnya korelasi dengan nilai $0,01 - 0,3$ menunjukkan hubungan positif yang lemah, sementara korelasi dengan nilai $-0,01$ sampai $-0,3$ menunjukkan hubungan negatif yang lemah. Korelasi $0,31-0,69$ menunjukkan hubungan positif sedang, sementara korelasi $-0,31$ sampai $-0,69$ menunjukkan hubungan negatif sedang. Korelasi di atas $0,7$ menunjukkan hubungan positif yang kuat, dan korelasi bawah $-0,7$ menunjukkan hubungan negatif yang kuat. Nilai korelasi yang tinggi dan signifikan menunjukkan bahwa kedua sifat tersebut akan selalu bersama-sama.

Ada beberapa jenis korelasi antar sifat tanaman, yaitu : 1) korelasi genetik atau korelasi genotip adalah korelasi antar sifat yang hanya ditimbulkan oleh faktor genetik total, 2) korelasi genetik additif atau korelasi additif adalah korelasi antar sifat yang hanya ditimbulkan oleh faktor genetik additif, 3) korelasi lingkungan adalah korelasi antara dua sifat pada suatu tanaman karena adanya perubahan lingkungan.

Korelasi genetik antar sifat adalah derajat keeratan hubungan antara sifat-sifat diantara total rata-rata pengaruh dari gen yang dikandungnya. Selain itu, analisis korelasi genetik dapat memberikan keterangan tambahan mengenai adanya karakter tertentu yang merupakan komponen-komponen penting yang mempengaruhi hasil panen (Rachmawati *et al.*, 2005). Hasil merupakan sifat yang ditentukan oleh banyak komponen hasil. Komponen hasil dalam memberikan pengaruh terhadap hasil, atau satu terhadap yang lain saling bekerja sama, berinteraksi atau bahkan ada yang saling berkompetisi. Oleh karena itu, untuk memilih genotip yang berdaya hasil tinggi perlu dilakukan pengujian tentang keterkaitan antara komponen-komponen hasil dengan hasil (Arifin, 2011).

Koefisien korelasi genetik antar sifat atau karakter dapat disebabkan oleh peristiwa *pleiotropy* dan ketidak seimbangan pautan. *Pleiotropy* adalah kejadian munculnya dua atau lebih karakter berbeda yang dikendalikan oleh satu gen pada satu lokus yang sama. Sedangkan ketidak seimbangan pautan adalah kejadian munculnya beberapa karakter yang dikendalikan oleh dua gen atau lebih pada kromosom yang sama (Falconer, 1970). Nilai korelasi fenotipik yang lebih tinggi daripada korelasi genotipik terjadi karena faktor lingkungan dan interaksi genetik x lingkungan mendukung ekspresi gen-gen dalam pleiotropisme dan linkage (Martono, 2009),

Koefisien korelasi didasarkan pada kovarians pada fenotip. Seperti halnya varians yang menggambarkan kecenderungan dari serangkaian pengukuran bervariasi $S^2 = \frac{\sum f_i (X_i - \bar{X})^2}{N-1}$, kovarians menggambarkan kecenderungan pasangan angka yang bervariasi bersama. Perhitungan kovarians ini mirip dengan perhitungan varians kecuali bahwa istilah deviasi kuadrat diganti dengan deviasi dari pasangan yang diukur, sehingga $Cov(x, y) = \frac{\sum f_i (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{N-1}$ (Hartl and Jones, 1998).

2.5 Analisis Lintas (*Path Analysis*)

Hasil tergantung pada banyak komponen karakter dan kompleksitas hasil. Meskipun korelasi cukup untuk menjelaskan seberapa besar hubungan antar karakter, namun tidak menggambarkan dengan jelas tingkat kontribusi yang dibuat (Rana *et al.*, 2015). Analisis lintas memberikan bantuan untuk menjabarkan total korelasi menjadi efek langsung dan tidak langsung. Analisis lintas pada tanaman cabai sudah dilakukan oleh beberapa peneliti, beberapa diantaranya dapat dilihat di Tabel 1.

Tabel 1. Analisis Lintas pada Cabai

Sumber	Metode dan Bahan	Hasil
Ullah <i>et al.</i> (2011)	RAK 3 ulangan, 12 genotip cabai besari bebas terpilih	Korelasi positif nyata terhadap hasil didapatkan pada karakter seperti jumlah buah per tanaman, panjang buah, diameter buah. Jumlah buah per tanaman memiliki pengaruh langsung positif maksimum (0,788) terhadap hasil buah diikuti oleh bobot buah rata-rata (0,336), hari untuk berbunga pertama (0,286) dan panjang buah (0,1149).
Jogi <i>et al.</i> (2013)	RAK 3 ulangan, 50 genotip cabai beragam secara genetik yang terdiri dari genotip indigenus dan hasil pemuliaan tanaman.	Asam askorbat (0.760) dan kandungan klorofil total buah (0.517) yang menunjukkan pengaruh langsung positif tinggi terhadap hasil total buah per tanaman.
Vikram, Ikwashamana, dan Meenu (2014)	RAK 3 ulangan, 25 genotip cabai yang beragam.	Hasil dari analisis lintas menunjukkan cukup tinggi positif pengaruh langsung bobot buah kering rata – rata terhadap bobot kering per tanaman diikuti

Sumber	Metode dan Bahan	Hasil
		oleh jumlah buah per tanaman, bobot kering sebagai persentase panen masak segar, lebar tengah buah, bobot 1000 biji, tinggi tanaman, kadar acarotene, umur 50 persen berbunga, kadar capsaicinoid dan kadar asam askorbat pada cabe hijau.
Maurya, Kushwaha, Maurya, dan Yadav (2017)	RAK 3 ulangan, 30 genotip cabai yang terdiri dari varietas dan galur yang beragam.	Hasil buah per tanaman berkorelasi positif nyata dengan nilai tinggi terhadap persen bahan kering, rata-rata berat buah kering, berat biji per tanaman, dan tebal daging buah. Pengaruh langsung maksimal didapatkan pada karakter bobot biji per tanaman dan bobot rata-rata buah kering yang menunjukkan akuntabilitas yang lebih tinggi untuk hasil yang lebih tinggi.
Bijalwan dan Mishra (2016)	RAK 3 ulangan, 16 genotip cabai yang terdiri dari varietas dan galur yang beragam.	Jumlah buah per tanaman, bobot buah dan panjang buah memiliki pengaruh langsung positif yang tinggi terhadap bobot buah per tanaman pada tingkat fenotipik dan genotipik, sedangkan luas daun, umur 50% berbunga, ketebalan pericarp, kandungan bahan kering dan kadar asam askorbat memiliki efek langsung

Sumber	Metode dan Bahan	Hasil
		positif yang tinggi pada tingkat genotip saja.
Singh, Amit, dan Ishtiyag (2014)	RAK 3 ulangan, 23 genotip yang terdiri dari varietas yang dilepas, galur pesilangan, dan koleksi lokal.	Korelasi genetik dan fenotip positif nyata tertinggi terdapat antara panjang buah (0.9913) dan ketebalan buah (0.9761). Korelasi genetik negatif nyata tertinggi terdapat antara berat 1000 biji dan hasil buah hijau (-0.7497) and korelasi fenotip negatif nyata tertinggi pada umur berbunga dan berat 1000 biji (-0.5875). Umur pertama berbunga memiliki pengaruh langsung yang positif dan tinggi (0.9162) terhadap hasil buah kering per tanaman.

Kesimpulan yang dapat diambil dari analisis lintas (Singh dan Chaudhary, 1979) dapat dibagi menjadi 3, yaitu sebagai berikut:

1. Jika koefisien korelasi antara karakter mendekati atau hampir sama dengan pengaruh langsungnya, maka korelasi dapat menjelaskan hubungan nyata dan seleksi langsung melalui karakter ini akan berjalan efektif.
2. Jika koefisien korelasi positif, tetapi pengaruh langsungnya negatif, diduga korelasi disebabkan oleh pengaruh tidak langsung. Pada situasi ini, faktor kausal tidak langsung harus diperhatikan lebih lanjut.
3. Jika koefisien korelasi negatif, tetapi efek langsungnya positif dan tinggi. Pada keadaan seperti ini maka pelaksanaan seleksi mengikuti model seleksi simultan terbatas. Pembatas yang dimaksud untuk menghilangkan pengaruh tidak langsung dan memanfaatkan pengaruh langsungnya.

2.6 Kemajuan Genetik Seleksi Langsung dan Tidak Langsung

Heritabilitas tidak memberikan informasi jumlah perbaikan genetik yang akan dihasilkan dari pemilihan genotip individu. Oleh karena itu, pengetahuan tentang heritabilitas akan lebih berguna jika digabungkan dengan kemajuan genetik (Rosmaina *et al.*, 2016). Kemajuan genetik merupakan parameter genetik yang berguna dalam menentukan tingkat keberhasilan suatu seleksi (Maryenti *et al.*, 2014). Beberapa penulis menyebutkan kemajuan genetik dengan istilah *genetic progress* (C. R. Handerson, 1963), *genetic gain* (Singh dan Chaudhary, 1979), *genetic advance* (Borojevic, 1990), *response to selection* (Kearsey dan Pooni, 1996; Holland *et al.*, 2003). Bahkan Acquaah (2012) menyebutkan istilah *response to selection*, *genetic gain*, *genetic advance* sekaligus dalam tulisannya.

Kemajuan genetik merupakan selisih antara nilai tengah dari turunan hasil seleksi dengan nilai tengah populasi yang diseleksi (Syukur, 2012). Kemajuan genetik adalah perbedaan antara nilai rata-rata genetik dari galur yang terseleksi dan nilai genetik rata-rata dari sumber populasi atau tetua (Borojevic, 1990). Nilai pendugaan kemajuan genetik digunakan dalam pendugaan berapa besar pertambahan nilai rata-rata populasi untuk sifat tertentu sebagai akibat dari seleksi (Amalia *et al.*, 1994). R adalah perubahan fenotip per generasi pada rata-rata fenotip ('respon') yang dapat diprediksi sebagai produk dari S (koefisien yang mengukur arah dan kekuatan seleksi) dan h^2 atau heritabilitas (Wilson dan Poissant, 2016).

Jika nilai harapan kemajuan genetik yang disebabkan nilai variabilitas genetik meningkat dan nilai duga heritabilitas dalam arti sempit termasuk kategori sedang, maka seleksi yang dilakukan akan efektif (Amalia *et al.*, 1994). Kemajuan genetik potensial per tahun dapat meningkat dengan menggunakan galur-galur elit yang membawa karakter-karakter unggul sebagai tetua (Syukur, 2012). Kemajuan genetik dicapai melalui seleksi tergantung pada tiga faktor, yaitu 1) variasi total (fenotip) pada populasi di mana seleksi akan dilakukan, 2) heritability dari karakter target, 3) tekanan seleksi yang akan dikenakan oleh pemulia (yaitu, proporsi populasi yang dipilih untuk generasi berikutnya) (Acquaah, 2012). Tekanan seleksi disini bisa disamakan dengan istilah intensitas seleksi. Intensitas seleksi merupakan besaran yang menunjukkan besarnya bagian

yang diseleksi dari suatu populasi sebaran normal standard. Semakin besar nilai intensitas seleksi yang digunakan maka nilai kemajuan genetik akibat seleksi akan semakin besar dan presentase populasi yang diseleksi semakin kecil.

Seleksi akan efektif jika populasi memiliki keragaman genetik yang luas. Luasnya keragaman yang dihasilkan, baik keragaman fenotip maupun genetik menunjukkan bahwa terdapat peluang besar untuk menyeleksi sifat-sifat yang diinginkan. Kisaran nilai tengah suatu karakter akan menentukan luas tidaknya keragaman karakter tersebut. Semakin luas kisaran nilai tengah suatu karakter maka keragamannya semakin luas (Barmawi *et al.*, 2013).

Seleksi dapat dibagi menjadi seleksi langsung dan tidak langsung. Seleksi langsung dapat dilakukan dengan melihat hasil yang ingin dicapai. Sedangkan seleksi tidak langsung dapat dilakukan dengan melihat komponen hasil yang berhubungan dengan hasil. Kemajuan genetik langsung sudah dijelaskan sebelumnya sedangkan kemajuan genetik tidak langsung sering dikenal dengan istilah *correlated response*. Efektivitas seleksi tidak langsung tergantung pada besarnya korelasi genetik dan sifat heritabilitas dari ciri-ciri sekunder yang dipilih (Acquaah, 2012).

Dengan asumsi bahwa i adalah sama pada seleksi langsung dan tidak langsung, pilihan tidak langsung diharapkan akan lebih efisien bila $r(x,y)$, $h_x > h_y$. Sehingga, seleksi tidak langsung akan lebih efektif bila korelasi antara karakter sangat kuat dan heritabilitas karakter terpilih jauh lebih besar dibandingkan dengan yang tidak dipilih. Sehingga dalam praktik, pemilihan langsung tidak mungkin lebih baik daripada pemilihan tidak langsung dan karena itu tidak boleh digunakan kecuali karakter yang diinginkan adalah salah sulit untuk diukur (Kearsey dan Pooni, 1996). Selain itu, dapat diketahui pula efisiensi seleksi dengan cara membandingkan seleksi langsung dan seleksi tidak langsung (CR/R) sehingga dapat menyimpulkan apakah seleksi tidak langsung akan lebih efektif jika dibandingkan seleksi langsung atau sebaliknya. Jika nilai CR/R mempunyai nilai 1 maka seleksi tidak langsung melalui karakter lain akan sama dengan seleksi langsungnya. Jika CR/R lebih dari 1 maka seleksi tidak langsung lebih efektif daripada seleksi langsung. Jika CR/R kurang dari 1 maka seleksi tidak langsung tidak lebih efektif daripada seleksi langsung.

2.7 Uji Benih

Benih adalah biji tanaman yang digunakan untuk penanaman atau dapat juga dikatakan bahwa biji merupakan suatu bentuk embrio yang masih dalam keadaan perkembangan yang terkekang (Sutopo, 2010).

Perkecambahan merupakan batas antara benih yang bergantung pada sumber makanan dari induknya dengan tanaman yang mampu berdiri sendiri dalam mengambil hara. Banyak benih relatif tahan terhadap pengaruh lingkungan, sementara benih yang berkecambah dan anakan sangat mudah rusak. Segera setelah perkecambahan dimulai, stres karena kurangnya air, suhu dan cahaya dapat menyebabkan kematian (Utomo 2006).