

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Karakteristik Tanaman Cabai Besar

Tanaman cabai besar termasuk tanaman semusim yang berbentuk perdu, tumbuh tegak, dan mudah dijumpai di dataran rendah maupun dataran tinggi. Tanaman cabai besar banyak mengandung vitamin A dan vitamin C serta mengandung *capsaicin*, yang menyebabkan rasa pedas dan memberikan kehangatan dan panas bila digunakan untuk rempah-rempah (bumbu dapur). Tanaman cabai besar berasal dari benua Amerika tepatnya daerah Peru dan menyebar ke negara-negara benua Amerika, Eropa dan Asia termasuk Indonesia. Di Indonesia, tanaman cabai besar tersebar luas di berbagai daerah seperti Purworejo, Kebumen, Tegal, Pekalongan, Pati, Padang, Bengkulu dan lain sebagainya (Sunaryono, 2003).

Dalam dunia tumbuh-tumbuhan, tanaman cabai besar tergolong dalam keluarga terung-terungan (*Solanaceae*). Secara umum, klasifikasi tanaman cabai besar adalah sebagai berikut. Kingdom : Plantae; Divisi : Magnoliophyta ;Kelas : Magnoliopsida; Ordo : Solanales; Famili : Solanaceae; Genus : *Capsicum*; Spesies : *Capsicum annuum* L.

Daun tanaman cabai besar bervariasi menurut spesies dan varietasnya. Ada daun yang berbentuk oval, lonjong, bahkan ada yang lanset. Warna permukaan daun bagian atas biasanya hijau muda, hijau, hijau tua, bahkan hijau kebiruan. Sedangkan permukaan daun pada bagian bawah umumnya berwarna hijau muda, hijau pucat atau hijau. Permukaan daun ada yang halus ada pula yang berkerut-kerut. Ukuran panjang daun cabai besar antara 3 – 11 cm, dengan lebar antara 1 – 5 cm. Batang pada tanaman cabai besar tidak berkayu. Bentuknya bulat sampai agak persegi dengan posisi yang cenderung agak tegak. Warna batang kehijauan sampai keunguan dengan ruas berwarna hijau atau ungu. Pada batang-batang yang telah tua (batang paling bawah), akan muncul warna coklat seperti kayu. Ini merupakan kayu semu yang diperoleh dari pengerasan jaringan parenkim. Biasanya batang akan tumbuh sampai

ketinggian tertentu, kemudian membentuk banyak percabangan (Sunaryono, 2003). Perakaran tanaman cabai besar cukup rumit. Akar tunggangnya dalam dengan susunan akar sampingnya (serabut) yang baik. Biasanya di akar terdapat bintil-bintil yang merupakan hasil simbiosis dengan beberapa mikroorganisme. Bunga tanaman cabai besar merupakan bunga sempurna. Artinya dalam satu tanaman terdapat bunga jantan dan bunga betina. Pemasakan bunga jantan dan bunga betina dalam waktu yang sama (atau hampir sama), sehingga tanaman dapat melakukan penyerbukan sendiri. Bunga berbentuk bintang, biasanya tumbuh pada ketiak daun, dalam keadaan tunggal atau bergerombol dalam tandan. Dalam satu tandan biasanya terdapat 2 – 3 bunga saja. Mahkota bunga tanaman cabai besar warnanya putih, putih kehijauan, dan ungu. Diameter bunga antara 5 – 20 mm. Tiap bunga memiliki 5 daun buah dan 5 – 6 daun mahkota (Purwanto, 2007). Buah cabai besar berbentuk kerucut memanjang, lurus atau bengkok, meruncing pada bagian ujungnya, menggantung, permukaan licin mengkilap, diameter 1-2 cm, panjang 4-17 cm, dan bertangkai pendek. Buah muda berwarna hijau tua, setelah masak berubah menjadi merah cerah (gambar 1). Biji yang masih muda berwarna kuning, setelah tua menjadi cokelat, berbentuk pipih, dan berdiameter sekitar 4 mm (Sunaryono, 2003).

Tanaman cabai besar hidup optimal pada daerah yang memiliki tipe iklim lembab sampai agak lembab dengan curah hujan berkisar antara 600-1200 mm/tahun dan jumlah bulan basah 3-9 bulan. Pada umumnya tanaman cabai besar lebih menghendaki ditanam di daerah yang terbuka (Martodireso dan Widada, 2011). Suhu udara yang baik bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman cabai besar berkisar antara 21°C-28°C. Suhu harian yang terlalu terik, yakni di atas 32°C menyebabkan tepung sari tanaman cabai besar tidak berfungsi untuk melakukan pembuahan. Selain itu, suhu harian yang terik dapat menyebabkan bunga dan buahnya terbakar. Suhu tanah juga berpengaruh terhadap penyerapan unsur hara terutama N dan P. Apabila pada waktu berbunga suhu turun di bawah 15°C, maka pembuahan dan pembijiannya terganggu. Pada suhu ini, unsur mikro yang penting untuk pertumbuhan buah sukar diserap oleh tanaman cabai besar sehingga terjadi buah tanpa biji atau *partenokarpi*. Suhu udara yang rendah, menyebabkan banyak cendawan penyakit daun menyerang

tanaman cabai besar, terutama apabila disertai dengan kelembaban tinggi (Sunaryono, 2003). Tanah yang subur dan banyak mengandung humus (bahan organik), gembur dan memiliki drainase baik sangat cocok untuk budidaya tanaman cabai besar. Tanaman cabai besar sebenarnya dapat tumbuh disegala macam tipe tanah dan ketinggian tempat. Tanaman cabai besar akan tumbuh baik pada ketinggian 0 – 1300 m dpl. Bahkan pada ketinggian 1500 m dpl pun tanaman cabai besar masih mampu tumbuh dan berbuah baik. Tanah yang air tanahnya dangkal dan porositasnya rendah menyebabkan tanaman cabai besar mudah terserang hama dan penyakit akar, penyakit layu, serta keguguran pada daun dan buahnya. pH tanah yang baik untuk tanaman cabai besar berkisar antara 5-6. Namun begitu, tanaman cabai besar sangat toleran terhadap tanah masam yang pHnya kurang dari 5, hanya saja buahnya kurang lebat dan pertumbuhannya kerdil (Martodireso dan Widada, 2011).



Gambar 1. Tanaman cabai besar (*Capsicum annuum* L.)

## 2.2 Deskripsi CMV (*Cucumber Mosaic Virus*)

CMV termasuk dalam kelompok *Cucumovirus*, yang memiliki suhu inaktivasi antara 60-75°C, dengan titik pengenceran akhir  $10^{-4}$  (Palukaitis *et al.*, 1997 dalam

Budiarti, 2010). CMV mempunyai tiga RNA genom beruntai tunggal (RNA 1, 2, 3) dan satu RNA subgenom (RNA 4). Masing-masing RNA ini mempunyai fungsi genomik yang berbeda (Kaper dan Waterwoth, 2001 dalam Budiarti, 2010). Berdasarkan beberapa kriteria, isolat CMV dibagi menjadi subgroup I dan II. Edward dan Gonsalves (1999) dalam Budiarti (2010) membaginya berdasarkan *peptide mapping* dari protein mantel (*coat protein*), dan Piazzolla *et al.*, (2000) dalam Budiarti (2010) dengan menggunakan hibridisasi RNA. cDNA *probe* yang dikembangkan oleh Owen dan Palukaitis (1998) dalam Budiarti (2010), Wahyuni dan Francki (1996) juga berhasil membedakan isolat CMV subgroup I dari isolat subgroup II.

CMV membutuhkan 3 buah RNA untai tunggal fungsional (RNA 1,2, dan 3) untuk dapat menginfeksi. Subgenom RNA ke-4 (RNA4) adalah kurir lapisan protein subgenomik, komponen RNA ke-5 (CARNA 5) merupakan molekul RNA berukuran kecil yang sepenuhnya bergantung pada virus penolong untuk replikasinya tetapi tidak mendukung virus penolong dengan fungsi esensial apapun (Gallitelli, 1998 dalam Budiarti, 2010). Genom CMV dan fungsinya dalam biologi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Genom CMV dan Fungsinya dalam Biologi Virus

Fragmen RNA	Panjang nukleotida (bp)	Fungsi dalam inang
RNA 1	3357-3389	Proses infeksi
RNA 2	3035-3050	Infeksi dan ekspresi gejala, sintesis protein
RNA 3	2197-2216	<i>Coat protein</i> dan penularan melalui kutu daun
RNA 4	1031-1034	Subgenom untuk <i>coat protein</i>
RNA 5	332-386	satRNA untuk mempengaruhi ekspresi gejala

Serangan CMV pada cabai besar dapat menyebabkan berbagai perubahan pada daun seperti perubahan warna (mosaik/*mosaic* atau belang/*mottle*); perubahan bentuk (menggulung, deformasi, menyempit, mengerut atau berubah seperti tali sepatu/*shoestring*, berukuran lebih kecil); dan mengalami nekrosis (membentuk

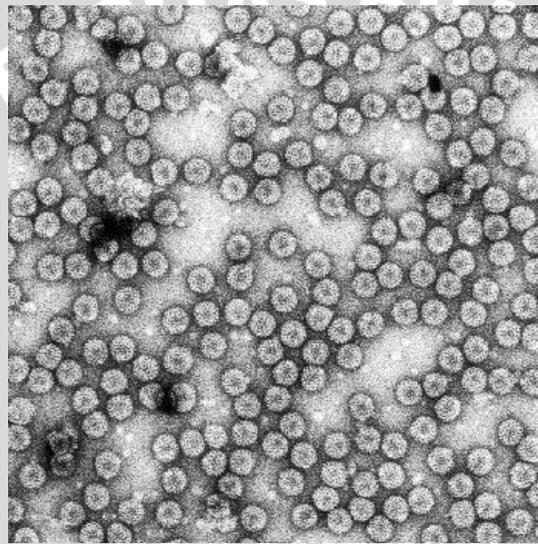
cincin-cincin nekrotik). Gejala pada batang adalah batang mengalami *stunt* (kerdil). Sedangkan pada buah adalah buah akan mengalami distorsi, diskolorasi, deformasi, *sunken areas*, *black spot*, bercak dan cincin-cincin nekrotik, serta buah bengkok. Pada tanaman cabai besar, CMV dapat menyebabkan gejala mosaik yang parah pada daun. Pada daun yang lebih tua akan tampak gejala nekrotik cincin, buah akan mengalami malformasi bentuk, serta terdapat bercak atau cincin berwarna kuning di tengah pada buah dari tanaman yang terserang CMV (Clark dan Adams, 1977).

CMV melakukan infeksi secara sistemik pada banyak tanaman. Organ atau jaringan tanaman lebih tua yang berkembang sebelum terinfeksi virus biasanya tidak dipengaruhi oleh keberadaan virus, namun jaringan atau sel-sel muda yang berkembang setelah terinfeksi virus sangat dipengaruhi dan umumnya memperlihatkan gejala akut. Gejala virus akan meningkat beberapa hari setelah terjadinya infeksi, kemudian menurun sampai pada taraf tertentu atau sampai tanaman mati. CMV relatif kurang stabil dalam ekstrak tanaman (sap). Pada suhu ruang infektivitasnya cepat menurun dan akan hilang setelah beberapa jam (Agrios, 2005).

CMV terdapat hampir di semua negara dengan strain dan sifat biologinya yang berbeda-beda. Dengan kisaran inang yang luas maka gejala yang ditimbulkannya pun beragam (Siregar, 1993). CMV mempunyai kisaran inang yang sangat luas, terdapat pada tanaman sayuran, hias dan buah-buahan. Selain menyerang ketimun, CMV juga menyerang tanaman melon, labu, cabai besar, bayam, tomat, seledri, bit, polong-polongan, pisang, tanaman famili *Crucifereae*, delphinium, gladiol, lili, petunia, tulip, zinia, dan beberapa jenis gulma (Agrios, 2005). Virus ini dilaporkan dapat menginfeksi lebih dari 800 spesies tumbuhan, dapat menyebabkan kerugian besar pada berbagai jenis tanaman (Palukaitis *et al.*, 1997 dalam Budiarti, 2010). Lebih dari 60 isolat CMV sudah diketahui sifat-sifatnya (Kaper dan Waterwoth, 2001 dalam Budiarti, 2010).

Penyebaran CMV dapat dilakukan oleh lebih dari 60 spesies aphid, khususnya oleh *Aphis gossypii* dan *Myzus persicae* secara non-persisten. Virus ini bisa ditularkan hanya dalam waktu 5-10 detik dan ditranslokasikan dalam waktu kurang dari satu menit. Kemampuan CMV untuk ditranslokasikan menurun kira-kira setelah

2 menit dan biasanya hilang dalam 2 jam. Selain itu, beberapa isolat dapat kehilangan kemampuannya untuk ditularkan oleh spesies kutu daun tertentu tapi tetap dapat ditularkan oleh spesies kutu daun yang lain. Berbagai spesies gulma dapat menjadi inang CMV, oleh karenanya dapat menjadi sumber virus bagi tanaman budidaya lain (Khetarpal *et al.*, 1998 dalam Budiarti, 2010). Pada daerah subtropis CMV dapat melewati musim dingin dan bertahan pada gulma-gulma tahunan (Agrios, 2005).



Gambar 2. *Cucumber Mosaic Virus* (CMV)

### 2.3 Kandungan Kimia dalam Bayam Duri

Bayam duri (*Amaranthus spinosus*) merupakan tanaman yang tersebar luas di daerah tropis dan bersuhu hangat di Asia, mulai dari Jepang, Indonesia, hingga India (Mishra, 2012). Tanaman ini banyak tumbuh liar di kebun-kebun, tepi jalan, tanah kosong dari dataran rendah sampai dengan ketinggian 1.400 m dpl. Bayam duri tumbuh optimal pada suhu 25-35°C dan dapat dikembangbiakkan melalui bijinya yang berbentuk bulat, kecil, dan berwarna hitam.

Tumbuhan bayam duri memiliki tinggi mencapai 1 meter, berbatang basah dan berduri. Daunnya bertangkai panjang, berwarna hijau tua dan berbentuk belah ketupat

atau taji. Bungannya seperti bentuk bunga bongkol, berwarna putih atau hijau muda. Tumbuhan ini termasuk dalam famili atau suku Amaranthaceae. Secara umum, klasifikasi bayam duri ialah sebagai berikut. Kingdom: Plantae; Divisi: Magnoliophyta; Kelas: Magnoliopsida; Ordo: Caryophyllales; Famili: Amaranthaceae; Genus: *Amaranthus*; Spesies: *Amaranthus spinosus* L.

Secara kimiawi bayam duri mengandung sejumlah konstituen aktif mencakup alkaloid, flavonoid, tanin, glikosida, asam fenolat, steroid, asam amino, terpenoid, lipid, saponin, betalain, B sitosterol, stigmasterol, asam linoleat, amaranthosida, amarisin, dan lain-lain (Azeredo, 2009). Kelompok alkaloid terdiri atas sejumlah betalain dan molekul turunannya. Betalain sudah dikenal karena khasiatnya sebagai antioksidan, antikanker, antiviral, dan antiparasit. Betalain merupakan pigmen kelompok alkaloid yang larut dalam air terdiri atas betasianin yang berwarna violet dan betaxanthin yang berwarna kuning (Azeredo, 2009). Tanin merupakan substansi yang berguna sebagai anti hama dan antimikroba pada tanaman sehingga mencegah serangan serangga dan fungi. (Setiawati *et al.*, 2008).



Gambar 3. Bayam duri (*Amaranthus spinosus* L.)

## 2.4 Karakteristik Inaktivasi Partikel Virus

Ada beberapa cara untuk menginaktivasi infektivitas partikel virus, namun sebelumnya perlu diketahui macam-macam karakteristik virus (Nurhayati, 2012). Tiga karakteristik virus tersebut antara lain, titik panas inaktivasi (*Thermal Inactivation Point/TIP*), titik batas pengenceran (*Dilution End Point/DEP*), dan ketahanan in vitro (*Longevity In Vitro/LIV*).

### a) *Thermal Inactivation Point/ TIP*

TIP adalah suhu yang diperlukan untuk sepenuhnya menonaktifkan virus dalam cairan sap selama 10 menit. Kestabilan virus diperiksa dengan menghomogenkan jaringan yang terinfeksi dengan sejumlah kecil buffer atau larutan penyangga. Sap yang telah dimasukkan ke dalam tabung reaksi dipanaskan dalam air selama 10 menit. Pengujian pendahuluan harus dengan interval 10°C (30°C ke 100°C). Setelah dipanaskan, tabung reaksi didinginkan dalam air es dingin untuk selanjutnya diinokulasikan ke tanaman uji (tanaman uji yang digunakan sebaiknya adalah tanaman indikator yang menunjukkan reaksi gejala lokal).

Tanaman uji diamati selama 3-4 minggu untuk melihat perkembangan gejala dan mencatat kisaran temperatur dimana aktivitas virus berhenti (misal: 60,70°C). Selanjutnya untuk penentuan titik inaktivasi, kisaran temperatur dibagi menjadi lima interval lebih kecil (59, 62, 65, 68, dan 71°C). Lima tabung reaksi yang berisi sap dipanaskan kembali seperti pada pengujian terdahulu dan diinokulasikan pada tanaman indikator. TIP merupakan temperatur terendah dimana tidak ada gejala muncul pada tanaman uji yang diinokulasi.

### b) *Dilution End Point/DEP*

DEP ialah tingkat pengenceran sap tertinggi, dimana pada tingkat pengenceran tertentu virus menjadi tidak aktif lagi atau tidak menyebabkan sakit pada inangnya. Pengujian dapat dilakukan dengan pengenceran sap tanaman  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ , dan  $10^{-8}$ .  $10^{-1}$  berarti 1 ml sap ditambah dengan 9 ml buffer yang kemudian dihomogenkan. Setiap pengenceran selanjutnya diinokulasikan pada tanaman uji yang peka.

c) *Longevity In Vitro/LIV*

LIV adalah keadaan dimana suatu virus dalam sap jika disimpan pada waktu yang meningkat (suhu kamar 20-22°C), maka pada perlakuan lama waktu tertentu akan mengalami inaktivasi. Sebagai contoh, jika gejala muncul pada tanaman yang diinokulasi dengan sap yang disimpan pada suhu ruang 60 hari, tetapi tidak ada gejala lagi setelah 90 hari, berarti LIV-nya adalah antara 60 dan 90 hari. Untuk penentuan LIV yang lebih tepat dapat dilakukan pengujian sap pada kisaran interval dua hari dalam rentang 60-90 hari.

Menurut Gibbs dan Harrison (1976), untuk menginaktifkan partikel virus dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

- a. Agen fisika, dengan perlakuan mekanik memanfaatkan getaran ultrasonik, radiasi ion (X-,  $\gamma$ -, and  $\beta$ -rays bersamaan dengan partikel bermuatan berat seperti partikel  $\alpha$ , proton, dan deuteron), serta radiasi non ion dengan pemanfaatan radiasi ultraviolet.
- b. Agen fisika-kimia, yang terdiri dari pemanasan, pembekuan dan pencairan, pengeringan, serta nilai pH.
- c. Agen kimia dan biokimia seperti dengan penggunaan deterjen, fenol, urea, asam asetat, dan alkalis. Selain itu dapat juga memanfaatkan pelarut organik, asam nitrat, formaldehid, sistem pengoksidasi (dengan tidak memasukkan oksigen atau menambahkan agen reduktor lain seperti asam thioglikolik atau zat-zat seperti sodium dietil dithiokarbamat yang menonaktifkan enzim dan bereaksi dengan *o*-quinon), tannin, enzim (tripsin, chymotripsin, pepsin atau papain), dan antibodi.

## 2.5 Ketahanan Tanaman Terinduksi

Ketahanan tanaman terinduksi adalah fenomena dimana terjadi peningkatan ketahanan tanaman terhadap infeksi oleh patogen setelah terjadi rangsangan. Ketahanan ini merupakan perlindungan tanaman bukan untuk mengeliminasi patogen tetapi lebih pada aktivitas dari mekanisme pertahanan tanaman. Ketahanan terinduksi dikategorikan sebagai perlindungan secara biologi pada tanaman dimana tanaman adalah target metode ini bukan patogennya. Induksi resistensi atau imunisasi atau

resistensi buatan adalah suatu proses stimulasi resistensi tanaman inang tanpa introduksi gen-gen baru. Induksi resistensi menyebabkan kondisi fisiologis yang mengatur sistem ketahanan menjadi aktif dan menstimulasi mekanisme resistensi alami yang dimiliki oleh inang (Rahmawati *et al.*, 2014).

Ada dua bentuk ketahanan terinduksi yang umum yaitu *Systemic Acquired Resistance* (SAR) dan *Induced Systemic Resistance* (ISR). Ketahanan tanaman terinduksi dapat dipicu dengan penambahan bahan-bahan kimia tertentu, mikroorganisme non patogen, patogen avirulen, ras patogen inkompatibel, dan patogen virulen yang infeksiya gagal karena kondisi lingkungan tidak mendukung. Ketahanan tanaman terinduksi karena penambahan senyawa kimia atau menginokulasikan patogen nekrotik sering diistilahkan dengan induksi SAR. Induksi SAR dicirikan dengan terbentuknya akumulasi asam salisilat (*salicylic acid*, SA) dan protein PR (*Pathogenesis-Related proteins*, PR). Sedangkan ketahanan terinduksi karena agen biotik non-patogenik sering dikenal dengan ISR, seperti oleh rizobakteria (Rahmawati *et al.*, 2014).

#### a) *Systemic Acquired Resistance/ SAR*

Pada umumnya, ketahanan terimbas adalah ketahanan sistemik. Hal ini terjadi karena daya pertahanan ditingkatkan tidak hanya pada bagian tanaman yang terinfeksi, tetapi juga pada jaringan terpisah tempat yang tidak terinfeksi. Oleh karena bersifat sistemik, ketahanan terimbas umumnya dirujuk sebagai SAR (*Systemic Acquired Resistance*). Akan tetapi, ketahanan terimbas tidak selalu ditampakkan secara sistemik, dapat juga ditampakkan secara setempat (*Locally Acquired Systemic / LAR*), meskipun keaktifannya sama terhadap beragam tipe patogen tanaman. Ketahanan sistemik terinduksi dapat dipicu oleh agen biologis seperti mikroorganisme nonpatogenik (Oka, 2002), bahan organik tertentu, atau dengan bahan kimia (Keesman *et al.*, 1994 dalam Duriat, 2008). Ketahanan sistemik terinduksi dapat juga dipicu atau dirangsang oleh ekstrak tumbuhan seperti *Clerodendrum aculeatum* (Verma *et al.*, 1996 dalam Duriat, 2008), *Mirabilis jalapa* (Somowiyarjo *et al.*, 2001 dalam Duriat, 2008), serta *Clerodendrum japonicum*, *Euphorbia hirta*, dan *M. jalapa* (Hersanti, 2004 dalam Duriat, 2008). Untuk

menghadapi serangan patogen dibutuhkan asam salisilat sebagai molekul sinyal pada tanaman dan disertai dengan induksi *Pathogenesis Related-protein*.

SAR mengacu pada jalur sinyal transduksi yang diaktivasi oleh pembentukan lesio nekrotik lokal, juga sebagai reaksi hipersensitivitas dalam reaksi inkompatibel atau sebagai gejala penyakit dalam reaksi kompatibel. SAR tergantung pada tanaman dan *elisor* patogen, ketahanan akan muncul pada periode tertentu dengan mengkorespondensikan waktu yang dibutuhkan untuk akumulasi dan transkripsi *PR-protein* serta produksi asam salisilat pada tanaman inang. SAR membutuhkan akumulasi asam salisilat atau *PR-protein* dalam sistem regulasi. Gen yang mengekspresikan SAR dihubungkan secara kolektif dengan gen SAR, termasuk  $\beta$  1,3 glukukanase, PR-1 protein, dan kitinase (Rahmawati *et al.*, 2014).

SAR juga dikarakterisasi oleh hubungan akumulasi kordinasi mRNA yang mengkode satu set gen SAR. Ekpresi dari gen ini terdiri dari 14 famili gen yang berhubungan dengan banyak gen yang mengkode *PR-protein* yang juga termasuk kriteria yang dapat dihubungkan SAR dengan berbagai respon ketahanan. Akumulasi peroksidase dapat memicu lignifikasi pada dinding sel tanaman, sehingga dapat membatasi translokasi virus pada tanaman (Goodman *et al.*, 1986 dalam Taufik, 2010).

#### **b) *Induced Systemic Resistance/ ISR***

Ketahanan sistemik terinduksi (ISR) pada dasarnya memiliki kesamaan dengan SAR. Mekanisme ini terjadi sebagai akibat adanya infeksi oleh patogen sehingga tanaman memberikan respon berupa reaksi-reaksi pertahanan seperti reaksi hipersensitivitas yang menyebabkan terjadinya lesio nekrotik pada daerah terserang. Beberapa peneliti telah melaporkan beberapa faktor yang dapat memicu ISR seperti senyawa kimia (siderofor, antibiotik dan ion Fe) yang dihasilkan rizobakteria dan komponen sel bakteri (dinding sel mikroba, flagella, filli, membran lipopolisakarida) dapat sebagai *elisor* dalam menginduksi ketahanan secara sistemik.

Mekanisme ISR terjadi sebagai akibat perubahan fisiologi tanaman yang kemudian menstimulasi terbentuknya senyawa kimia yang berguna dalam pertahanan terhadap serangan patogen. Perubahan fisiologi tersebut dapat berupa modifikasi

struktural dinding sel atau perubahan reaksi biokimia pada tanaman inang. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan adanya induksi ketahanan sisteik oleh bakteri yaitu:

- 1) Adanya sumbangan lipopolisakarida oleh bakteri; komponen sel, seperti membran lipopolisakarida dan flagella dapat mengaktifkan respon ketahanan tanaman. Selubung sel dari sebagian besar bakteri gram negatif mempunyai membran luar yang merupakan suatu struktur kompleks yang terdiri dari fosfolipid, lipopolisakarida dan beberapa macam protein. Komponen-komponen yang terdapat pada permukaan sel bakteri berperan dalam interaksi antara inang dan mikroba.
- 2) Produksi siderofor oleh bakteri.
- 3) Produksi asam salisilat, yang dapat terjadi secara langsung oleh bakteri ataupun secara tidak langsung.

Induksi resistensi tanaman merupakan aktivitas pertahanan tanaman untuk melindungi diri dari patogen. Gen pertahanan pada tanaman tidak akan diekspresikan sebelum induksi resistensi diberikan, ekspresi ketahanan baru akan muncul setelah adanya inokulasi *challenge* (infeksi susulan) pada waktu dan lokasi yang berbeda. Aktivasi gen untuk melindungi tanaman dapat diinduksi secara sistemik dengan *signalling molecules* yang dihasilkan pada tempat agens *Inducer Systemic Resistance* dan ditransportasi dengan difusi atau melalui sistem pembuluh tanaman inang (Rahmawati *et al.*, 2014).

