2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Cabai Merah

Tanaman cabai memiliki banyak nama popular di berbagai Negara. Secara umum tanaman cabai disebut sebagai *pepper* atau *chili*. Nama *pepper* lebih umum digunakan untuk menyebut berbagai jenis cabai besar, cabai manis, atau paprika. Sedangkan *chili* digunakan untuk menyebut cabai pedas (cabai rawit). Di Indonesia, penamaan cabai bermacam-macam tergantung daerahnya. Cabai sering disebut dengan berbagai nama, misalnya lombok, mengkreng, rawit, cengis, cengek, dan lain-lain.

Dalam tata nama ilmiah, tanaman cabai termasuk dalam genus Capsicum dengan klasifikasi lengkap sebagai berikut (Rubatzky dan Yamaguchi, 1999):

Kingdom : Plantae
Divisi : Spermatophyta
Sub Divisi : Angiospermae
Kelas : Dicotyledoneae
Sub Kelas : Sympetalea
Ordo : Tubiflorae
Family : Solanaceae
Genus : Capsicum
Species : *Capsicum annuum* L.

Tanaman cabai masih satu family dengan tanaman kentang, tomat, dan terung. Persamaan satu family memungkinkan adanya persamaan dalam serangan hama dan penyakit. Namun, tanaman cabai tidak berkerabat dekat dengan tanaman cabai Jawa (*Piper retrofractrum*), meskipun sama-sama memiliki nama cabai.

Menurut Rubatzky dan Yamaguchi (1999), ciri-ciri morfologi tanaman cabai merah (*Capsicum annuum* L.) adalah sebagai berikut:

a. Akar

Perakaran tanaman cabai cukup kuat dan dalam, terdiri atas akar tunggang, akar cabang, dan akar serabut. Jika tanaman tumbuh menahun, panjang akar dapat mencapai satu meter ke dalam tanah. Oleh karena itu, budidaya cabai untuk

pembenihan perlu disesuaikan dengan kondisi kesuburan tanah sebagai tempat tumbuh perakaran tanaman.

b. Batang

Tanaman cabai memiliki batang tegak dan mempunyai banyak cabang. Ketinggian tanaman mencapai 50-150 cm. Warna batang hijau hingga keunguan tergantung varietas.

c. Daun

Tanaman cabai memiliki helaian daun dengan tangkai yang panjang. Daun tunggal dan tipis, dengan helaian daun lanset dan bulat telur lebar. Panjang daun berkisar 5 – 12 cm dan lebar antara 1.5 – 4 cm. Panjang tangkai daun berkisar 1 – 1.25 cm. Daun berwarna hijau hingga keunguan tergantung varietas.

d. Bunga

Bunga cabai muncul dari ketiak tangkai daun. Bunga memiliki kelopak bunga yang saling berlekatan. Bunga cabai merupakan bunga sempurna (*hermaphrodite*). Mahkota bunga berwarna putih atau ungu tergantung kultivarnya, helaian mahkota bunga berjumlah lima atau enam helai dan berbentuk seperti bintang, corong, atau terompet. Setiap bunga memiliki satu putik (stigma) dengan kepala putik berbentuk bulat. Posisi benang sari dan putik dalam bunga mempengaruhi penyerbukan. Apabila posisi kepala putik lebih tinggi dari kotak sari akan terjadi penyerbukan silang dan sebaliknya, sedangkan apabila putik lebih rendah dari benang sari maka akan terjadi penyerbukan sendiri. Hal ini yang menyebabkan tanaman cabai pada kultivar tertentu dapat mengadakan penyerbukan sendiri atau penyerbukan silang.

e. Buah

Buah cabai merah yaitu buah seringkali tumbuh tunggal pada setiap buku dan buah jamak (biasanya dua atau tiga) per buku pada beberapa spesies lain. Ketika buah berkembang, kulit buah tumbuh lebih cepat daripada jaringan plasenta yang menyebabkan buah berongga. Ketika buah matang, tekstur permukaan luar buah menjadi licin dan mengkilat.

f. Biji

Biji cabai merah berbentuk pipih dengan ukuran kecil (antara 3 – 5 mm) sekitar 150 – 160 biji berbobot 1 g, berwarna kuning pucat, bulat telur.

Menurut Sisca *et al*. (2010), varietas cabai merah hibrida yang telah dilepas di Indonesia sudah banyak. Berikut beberapa varietas cabai hibrida dengan ciri dan potensi yang dihasilkan :

1. Cabai Merah Varietas Inko Hot

Cabai ini merupakan varietas hibrida yang mempunyai potensi hasil tinggi ± 30 ton ha^{-1}. Bentuk buah silindris dengan warna merah menyala. Varietas ini memiliki umur panen ± 110 hst. Umur mulai berbunga ± 45 hst. Diameter buah ± 1.7 cm dan panjang buah ± 16 cm. Varietas ini mempunyai tinggi tanaman 100 - 150 cm. Varietas Inko hot beradaptasi baik di dataran rendah sampai tinggi dengan ketinggian 100 – 800 m dpl dan dapat tumbuh baik pada tanah dengan pH 5 – 7.5.

2. Cabai Merah Varietas Hot Beauty

Cabai ini merupakan varietas hibrida dengan tinggi tanaman 87 - 95 cm, umur mulai berbunga 44 - 50 hst, umur mulai panen 87 - 90 hst. Ukuran buah : panjang 11.5 – 14.1 cm, diameter 0.78 – 0.85 cm. Permukaan kulit buah halus, berat per buah 17 - 18 g. Hasil panen mencapai 16 - 18 ton ha^{-1}. Beradaptasi dengan baik di dataran rendah sampai sedang dengan ketinggian 1 - 600 m dpl.

3. Cabai Merah Varietas Hot Chilli

Cabai ini merupakan cabai merah hibrida. Umur mulai berbunga ± 45 hst, mulai panen pada umur ± 110 hst. Tinggi tanaman ± 120 cm dengan berat per buah ± 18 g, rasa buah kurang pedas, hasil buah ± 30 ton ha^{-1}. Varietas ini dapat beradaptasi dengan baik di dataran medium sampai tinggi.

4. Cabai Merah Varietas Premium

Cabai ini merupakan varietas hibrida. Tinggi tanaman ± 110 cm, umur mulai berbunga ± 32 hst. Umur mulai panen ± 95 hst, ukuran buah panjang ± 13 cm, berdiameter 1.3 cm. Berat per buah ± 13 g. Cabai ini memiliki rasa pedas dan hasil segar ± 13 ton ha^{-1}. Tanaman cabai varietas Premium mampu beradaptasi dengan baik di dataran rendah sampai sedang dengan ketingggian 200 – 500 m dpl.

5. Cabai Merah Varietas Kaiser

Cabai merah varietas Kaiser merupakan varietas hibrida. Tinggi tanaman ± 110 cm, umur mulai berbunga ± 32 hst. Umur mulai panen ± 90 hst, ukuran buah

panjang ± 14 cm, berdiameter 1.4 cm. Berat per buah ± 15 g. Cabai ini memiliki rasa pedas sedikit manis dan hasil segar ± 14 ton ha^{-1}. Tanaman cabai varietas Kaesar mampu beradaptasi dengan baik di dataran sedang dengan ketingggian 400 – 700 m dpl.

6. Cabai Merah Varietas Scarlet P sada 300

Cabai merah Scarlet merupakan cabai hibrida yang diproduksi oleh PT. Koreana Seed Indonesia. Diameter cabai 1.5 cm dengan panjang buah 14-16 cm. Umur mulai panen 85 hst. Cabai ini mampu beradaptasi dengan baik di dataran rendah sampai menengah.

Secara fisiologis tanaman cabai merah menurut Nawangsih *et al*. (1999) dapat dibagi menjadi empat fase. Fase-fase tersebut ialah:

1. Fase embrionis (lembaga)

Fase embrionis terjadi sejak penyerbukan bakal buah oleh benang sari sehingga menghasilkan zigot yang seterusnya berkembang menjadi biji. Mulai tahap inilah pertumbuhan dan perkembangan tanaman berlangsung.

2. Fase juvenil

Fase juvenil dimulai sejak terbentuknya organ tanaman seperti daun, batang, dan akar untuk yang pertama kalinya. Proses ini dikenal dengan perkecambahan. Fase juvenil berakhir pada waktu tanaman berbunga untuk pertama kali. Tanaman cabai yang berada dalam fase pertumbuhan juvenil aktif menumbuhkan tunas-tunas baru. Tunas tumbuh pada buku-buku batang utama dan pada ketiak daun. Pada fase ini tanaman tumbuh dan berkembang lebih cepat dan sangat subur.

3. Fase produksi

Fase produksi dimulai saat tanaman menumbuhkan bunga pertama dan berakhir ketika tanaman sudah tidak mampu berbuah secara normal.

4. Fase penuaan

Batasan dimulainya fase penuaan sulit dipastikan secara tepat karena sampai batas waktu tertentu tanaman masih mampu menghasilkan bunga yang dapat berkembang menjadi buah. Namun demikian, ini dapat dipastikan bila tanaman cabai menghasilkan buah berukuran dibawah normal, berarti tanaman sudah berada pada fase penuaan.

Tanaman cabai merah dapat tumbuh di daerah-daerah dengan ketinggian tempat hingga 2.000 m dpl. Untuk memperoleh pertumbuhan yang baik dan produksi yang maksimal, usaha budidaya tanaman harus dilakukan dengan memperhatikan persyaratan tertentu. Syarat untuk pertumbuhan tanaman cabai merah menurut Tjahjadi (1991), Setiadi (1993), dan Pitojo (2003) sebagai berikut:

1. Iklim

Suhu berpengaruh pada pertumbuhan tanaman, demikian juga pada tanaman cabai. Suhu yang baik untuk pertumbuhan tanaman cabai adalah 24-27^{o} C, sedangkan suhu udara yang optimal bagi pembentukan buah adalah 16-23^{o} C. Pada suhu tertentu seperti 15^{o} C dan lebih dari 32^{o} C akan menghasilkan buah cabai yang kurang baik. Pertumbuhan akan terhambat jika suhu harian di areal budidaya terlalu dingin (Pitojo, 2003). Menurut Tjahjadi (1991), tanaman cabai dapat tumbuh pada musim kemarau apabila dengan pengairan yang cukup dan teratur. Iklim yang dikehendaki untuk pertumbuhannya antara lain :

a. Sinar Matahari

Penyinaran yang dibutuhkan tanaman cabai adalah penyinaran secara penuh, bila penyinaran tidak penuh pertumbuhan tanaman tidak akan normal. Apabila kurang mendapat sinar matahari di persemaian atau pada awal pertumbuhannya, tanaman cabai akan mengalami etiolasi, jumlah cabang sedikit, dan akibatnya buah cabai yang dihasilkan juga berkurang. Bunga cabai akan muncul dari setiap cabang tanaman, sehingga semakin banyak cabang akan semakin banyak buah.

b. Curah Hujan

Tanaman cabai tumbuh baik di musim kemarau tetapi juga memerlukan pengairan yang cukup. Curah hujan yang dikehendaki yaitu 800 – 2000 mm tahun^{-1}. Menurut Setiadi (1993), tanaman cabai akan mudah terserang penyakit terutama penyakit antrak (penyakit patek) apabila kondisi daerah tersebut memiliki kelembaban tinggi dengan curah hujan 600 – 1250 mm tahun^{-1}. Namun demikian, kehadiran hujan tidak mutlak dipersyaratkan, asalkan di lokasi budidaya tersedia cukup air. Budidaya tanaman cabai dapat dilakukan pada musim kemarau dengan dukungan air yang memadai. Budidaya cabai di sawah, sebaiknya dilakukan pada akhir musim hujan, sedangkan di lahan tegal sebaiknya dilakukan di awal atau menjelang akhir musim hujan.

c. Suhu dan Kelembaban

Tinggi rendahnya suhu sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman cabai merah. Suhu yang cocok untuk pertumbuhan cabai adalah siang hari 21^{o}C – 28^{o}C, malam hari 13^{o}C – 16^{o}C, dan untuk kelembaban tanaman 80%.

d. Angin

Angin yang bertiup cukup kencang akan merusak tanaman cabai. Tiupan angin yang kencang akan mematahkan ranting, menggugurkan bunga dan buah bahkan dapat merobohkan tanaman.

2. Kesuburan Tanah

Kesuburan tanah memegang peranan sangat penting untuk tanaman cabai. Fungsi tanah selain sebagai penyangga akar, namun juga sebagai penyedia air, zat-zat hara, dan udara bagi pernafasan tanaman. Tanah yang subur dapat menyebabkan tanaman tumbuh dan berkembang secara optimal. Faktor-faktor yang menyuburkan tanah adalah kandungan air, bahan organik, batuan induk, suhu, organisme tanah, kemasaman tanah, struktur, dan tekstur tanah serta kelengkapan dan ketersediaan zat-zat hara.

Tanaman cabai tidak memerlukan struktur tanah yang khusus. Tanah yang banyak mengandung bahan organik, baik dari jenis tanah liat atau tanah pasir sangat baik untuk pertumbuhan tanaman. Penambahan bahan organik seperti pupuk kandang atau kompos sangat baik untuk tanaman cabai. Pupuk tersebut diberikan dua minggu sebelum tanam. Tanaman cabai tumbuh baik pada kemasaman tanah (pH) 5.0 – 7.5. Pada kemasaman pH rendah yaitu 4.0, tanaman cabai masih dapat tumbuh baik, tetapi produksi buah agak berkurang karena beberapa unsur hara sulit diserap. Pemberian kapur untuk meningkatkan pH jarang dilakukan karena dengan pemberian TSP yang cukup sebagai pupuk dasar sudah mampu meningkatkan pH.

Tanah yang lembab tetapi tidak tergenang air sangat cocok untuk tanaman cabai. Pada tanah yang bersifat liat seperti tanah persawahan, harus dibuat bedengan-bedengan agar tanaman cabai tidak tergenang air. Pada tanah yang bersifat pasir atau tanah porus, tidak perlu dibuat bedengan, tetapi sebulan sekali tanah harus dibumbun kembali agar akar cabai tetap dalam keadaan tertimbun.

3. Air

Air sangat penting bagi tanaman dimana memiliki fungsi membantu penyerapan unsur hara dari dalam tanah oleh akar tanaman, mengangkut hasil fotosintesis dari daun ke seluruh bagian tanaman, serta melancarkan aerasi udara dan suplai oksigen dalam tanah.

Lahan pertanaman yang kekurangan air menyebabkan fungsi dan pertumbuhan akar terganggu. Pertumbuhan seluruh bagian tanaman akan terhenti sehingga perkembangaannya menjadi tertunda, mutu, dan produksi akan merosot serta akar tanaman akan rentan terhadap penyakit *dumping off*. Apabila pertanaman kelebihan air, maka kondisi lahan akan sangat lembab dan becek sehingga tanaman dapat terserang penyakit busuk akar.

Bila lahan bersifat asam (pH < 6), maka keberadaan air dapat menetralkan tanah tersebut. Umumnya lahan yang bersifat asam terdapat di lahan sawah dan tegal yang tanahnya berkadar liat dan unsur besi (Fe) yang tinggi. Tanaman yang ditanam pada lahan tersebut akan mengalami keracunan unsur Fe. Keracunan tersebut disebabkan saat tanah mendapatkan air, senyawa *feri* yang bervalensi tinggi akan berubah menjadi senyawa *fero* yang bervalensi rendah. Senyawa fero inilah yang akan diserap oleh akar sehingga tanaman mengalami keracunan unsur besi.

4. Tinggi – rendahnya letak geografis

Tanaman cabai dapat tumbuh dengan baik di dataran rendah maupun dataran tinggi. Tanaman cabai tidak membutuhkan ketinggian yang khusus untuk pertumbuhannya. Tinggi-rendahnya suatu tempat biasanya berhubungan langsung dengan suhu udara dan kelembaban udara. Perbedaan kelembaban dan suhu udara yang cukup besar sangat penting untuk pertumbuhan cabai. Misalnya, didaerah dataran rendah yang suhunya tinggi harus diimbangi dengan kelembaban udara yang tinggi pula.

2.2 Rhizobakteri

Istilah rizosfer menunjukkan bagian tanah yang dipengaruhi perakaran tanaman. Rizosfer dicirikan oleh lebih banyaknya kegiatan mikrobiologis dibandingkan kegiatan di dalam tanah yang jauh dari perakaran tanaman.

Intensitas kegiatan semacam ini tergantung dari panjangnya jarak tempuh yang dicapai oleh eksudasi sistem perakaran. Istilah “efek rizosfer” menunjukkan pengaruh keseluruhan perakaran tanaman terhadap mikroorganisme tanah. Maka akan lebih banyak jumlah bakteri, jamur dan actinomycetes dalam tanah yang termasuk rizosfer dibandingkan tanah yang tidak memiliki rizosfer. Beberapa faktor seperti tipe tanah, kelembaban tanah, pH dan temperatur, dan umur serta kondisi tanaman mempengaruhi efek rizosfer (Khan *et al*., 2009).

Efek rizosfer selain tampak dalam bentuk melimpahnya jumlah mikroorganisme juga adanya distribusi bakteri yang memiliki ciri mempunyai kebutuhan khusus, yaitu asam amino, vitamin-vitamin B, dan faktor pertumbuhan khusus (kelompok nutrisional). Laju kegiatan metabolik mikroorganisme rizosfer itu berbeda dengan laju kegiatan metabolik mikroorganisme dalam tanah non-rizosfer.

Menurut Wood (1995), rizosfer adalah bagian tanah di mana lebih banyak terdapat bakteri di sekitar akar tanaman daripada tanah yang jauh dari akar tanaman. Rizosfer juga dibedakan menjadi daerah permukaan akar (rizoplan) dan daerah sebelah luar dari akar itu sendiri (endorizosfer). Selain menghasilkan efek biologi, akar juga mempengaruhi sifat kimia dan sifat fisika tanah, sehingga secara tidak langsung mempengaruhi mikroorganisme tanah.

Istilah ”kolonisasi akar” dapat digunakan untuk menggambarkan proses-proses yang secara fundamental berbeda. Ada suatu persetujuan umum di antara para peneliti bakteri bahwa kolonisasi akar adalah suatu proses aktif, bukan suatu peristiwa yang kebetulan ditemukan antara bakteri tanah dan akar tanaman. Kolonisasi akar adalah suatu proses di mana bakteri diinokulasikan ke dalam benih atau tanah, dapat bertahan hidup dan menggandakan diri dalam spermosfer dalam responnya terhadap eksudat benih yang kaya akan nutrisi, berasosiasi dengan permukaan akar dan mengkoloni sistem akar yang sedang berkembang dalam tanah dengan mikroflora asli tanah.

Berbagai manfaat positif dari bakteri dalam rizosfer telah menjadikannya sumber potensial bagi ketersediaan nutrisi dalam tanah serta mendorong pertumbuhan tanaman sehingga menjadi lebih baik. Beberapa bakteri tanah berasosiasi dengan akar tanaman budidaya dan memberikan pengaruh yang

bermanfaat pada tanaman inangnya. Bakteri ini dikelompokkan ke dalam PGPR. Strains PGPR yang sering ditemukan di antaranya *Pseudomonas fluorescent.*

Penelitian yang melibatkan bakteri yang hidup bebas sebagai inokulan bagi tanaman pertanian memiliki genus yang sama dengan Azospirillum. Pada akhir tahun 1800, efek yang menguntungkan dari simbiosis rizobia pada tanaman legum telah dikembangkan dan penelitian telah sampai pada pertanyaan dapatkah manfaat yang diperoleh oleh tanaman yang bersimbiosis dengan legum diperoleh oleh tanaman tanpa simbiosis legum dengan bakteri tanah lainnya.

2.3 *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR)

PGPR adalah kelompok bakteri yang menguntungkan yang agresif mengkolonisasi rizosfer (lapisan tanah tipis antara 1-2 mm di sekitar zona perakaran). Rhizobia dapat menghasilkan 1 dari 3 jenis efek pada tanaman inang yang diinokulasi yaitu menghilangkan, menetralkan atau bermanfaat. Rizobakteri yang bermanfaat dinamakan PGPR. Oleh karena itu, PGPR dapat dipertimbangkan secara fungsional sebagai bakteri bermanfaat yang mengkolonisasi akar.

PGPR pertama kali diteliti oleh Kloepper dan Scroth (1982) untuk menggambarkan bakteri tanah yang mendiami daerah perakaran tanaman yang dinokulasikan ke dalam benih dan ternyata meningkatkan pertumbuhan tanaman. Proses kolonisasi selengkapnya adalah sebagai berikut: kemampuan mempertahankan diri (*survive*) dari proses inokulasi ke dalam benih, penggandaan diri dalam spermosfer (daerah yang melingkupi permukaan benih) dalam responnya terhadap eksudat benih, penyerangan terhadap permukaan akar, dan berkolonisasi/mendiami daerah perkaran untuk memperkuat sistem perakaran (Nelson, 2004).

Efek PGPR pada tanaman yang diinokulasi dikelompokkan menjadi dua, yaitu: mendukung pertumbuhan tanaman dan pengendali secara biologis (biokontrol). Meskipun secara konseptual kedua efek ini sangat berbeda, dalam prakteknya sangat sulit bahkan hampir tidak mungkin untuk menentukan perbedaan dan batas antara keduanya. Pertumbuhan tanaman distimulasi PGPR secara tidak langsung dengan cara mereduksi aktivitas organisme lainnya,

sehingga dinamakan biokontrol. Sebaliknya, beberapa strain PGPR mendukung pertumbuhan tanaman secara langsung dalam ketiadaan mikroflora asli rizosfer. Meskipun inhibisi dari mikroflora asli tidak terlibat dengan *growth promotion*, biokontrol dapat terjadi pada saat PGPR diuji dalam kajian penyakit atau pada percobaan lapang dengan patogen asli.

Biokontrol pada beberapa kasus diperkirakan muncul akibat dari penyakit yang terbebaskan. Akar menunjukkan pemanjangan atau percabangan yang berlebih akibat perlakuan PGPR, dapat meloloskan infeksi dari fungi patogen asal tanah yang lebih mudah menginfeksi benih muda. Selain itu infeksi patogen yang terlokalisir dalam 1 area sistem perakaran mungkin diseimbangkan oleh suatu peningkatan global dalam biomassa akar sebagai kompensasi. Apabila dilakukan evaluasi PGPR dalam penelitian lapangan atau tanah lapangan yang disimpan dalam penelitian *greenhouse,* memungkinkan untuk menggambarkan efek yang teramati dari PGPR pada tanaman inang secara prinsip sebagai pendukung pertumbuhan atau biokontrol dengan mencatat perkembangan pertumbuhan tanaman dan simptom yang terjadi selama pertumbuhan tanaman.

Biokontrol terhadap fitopatogen tampaknya menjadi mekanisme utama dari PGPR. Penekanan fitopatogen merupakan hasil dari produksi metabolit sekunder atau datang pada tanaman dengan sendirinya sebagai sistem pertahanan. PGPR berbasis inokula seharusnya dapat bersaing dengan mikroorganisme *indigenous* dan dengan efisien mendiami daerah perakaran tanaman untuk melindunginya. Beberapa bakteri yang termasuk dalam PGPR yaitu *Bacillus, Pseudomonas, Erwinia, Enterobacter, Caulobacter, Serratia, Flavobacterium, Actinobacter* sp., *Aeromonas, Agrobacterium, Azotobacter, Azospirillum,* dan *Acetobacter.*

PGPR dapat diaplikasikan dengan berbagai cara yaitu inokulasi benih dengan cara melarutkan PGPR konsentrasi 10 ml l^{-1} selama 2 jam. Selain itu, dapat diberikan langsung pada tanaman dengan konsentrasi 10 – 20 ml PGPR dengan 1 liter air, larutan tersebut disiramkan ke daerah sekitar perakaran tanaman dengan dosis 200 – 500 ml (Wahyu, 2011).

2.4 *Bacillus thuringensis*

Bacillus thuringiensis merupakan salah satu bakteri patogen pada serangga. Ciri khas yang terdapat pada *B. thuringiesis* adalah kemampuannya membentuk kristal (tubuh paraspora) bersamaan dengan pembentukan spora, yaitu pada waktu sel mengalami sporulasi. Kristal tersebut merupakan komplek protein yang mengandung toksin yang terbentuk di dalam sel 2-3 jam setelah akhir fase eksponensial dan baru keluar dari sel pada waktu sel mengalami autolisis setelah sporulasi sempurna. Sembilan puluh lima persen kristal terdiri dari protein dengan asam amino terbanyak terdiri dari asam glutamat, asam aspartat dan arginin, sedangkan lima persen terdiri dari karbohidrat yaitu mannosa dan glukosa (Bulla *et al*., 1976).

Menurut Steinhaus (1949), kristal protein tersusun dari sub unit-sub unit protein yang berbentuk batang atau halter, mempunyai berat molekul 130 – 140 kDa yang berupa protoksin. Protoksin akan menjadi toksin setelah mengalami hidrolisis dalam kondisi alkalin di dalam saluran pencernaan serangga. Hidrolisis ini melepaskan protein kecil dengan berat molekul sekitar 60 kDa dan bersifat toksik.

Kristal protein mempunyai beberapa bentuk. Ada hubungan nyata antara bentuk kristal dengan kisaran daya bunuhnya. Varietas yang memiliki daya bunuh terhadap serangga ordo Lepidoptera, memiliki kristal toksin yang berbentuk bipiramida dan jumlahnya hanya satu tiap sel, sedangkan yang berbentuk kubus, oval dan amorf umumnya toksik terhadap serangga ordo Diptera dan jumlahnya dapat lebih dari satu tiap sel. Kristal yang mempunyai daya bunuh terhadap serangga ordo Coleoptera berbentuk empat persegi panjang dan datar atau pipih.

Toksisitas *B. thuringiensis* terhadap serangga dipengaruhi oleh strain bakteri dan spesies serangga yang terinfeksi. Faktor pada bakteri yang mempengaruhi toksisitasnya adalah struktur kristalnya, yang pada salah satu strain mungkin mempunyai ikatan yang lebih mudah dipecah oleh enzim yang dihasilkan serangga dan ukuran molekul protein yang menyusun kristal, serta susunan molekul asam amino dan kandungan karbohidrat dalam kristal.

Dampak positif *Bacillus thuringiensis* ialah hasil produksi meningkat, dapat menekan penggunaan pestisida, dan ketahanan tanaman terhadap hama dan

jamur dari fusarium yaitu penyebab pembusukan. Karakter fungsional beberapa bakteri yang berkaitan dengan fungsi pemacu pertumbuhan tanaman disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakter Fungsional Beberapa Bakteri (Khan *et al*., 2009)

Organisms	Growth regulators
Azotobacter, Pseudomonas fluorescent, Bacillus	IAA, siderophore, ammonia, HCN, P-solubilization
Pantoea dispers strain IA	P-solubilization, IAA, siderophore, HCN
Bacillus sp.	IAA
Xanthomonas sp. RJ3 *Azomonas sp. RJ4* *Pseudomonas sp. RJ10* *Bacillus sp. RJ31*	IAA
Bacillus sp.	P-solubilization
Brevibacterium sp.	Siderophore
Bacillus suptilis	IAA, P-solubilization
Variovorax paradoxus *Rhodococcus sp and* *Flavobacterium (Cd tolerant)*	IAA, Siderophore
Pseudomonas fluorescens	IAA, Siderophore, P-solubilization
Pseudomonas putida	Siderophore
Azotobacter, Pseudomonas fluorescens	IAA
Bacillus, Azospirillum sp.	IAA, P-solubilization
Pseudomonas aeruginosa	IAA, siderophore, HCN
Bacillus, Pseudomonas *Azotobacter* *Azospirillum*	P-solubilization, IAA
Pseudomonas sp.	Siderophore
Pseudomonas sp.	IAA, Siderophore, P-solubilization
Pseudomonas fluorescens	Siderophore
Azotobacter chroococcum	Gibberellin, kinetin, IAA
Kluyvera ascorbate	Siderophore

2.5 *Pseudomonas fluorescens*

Pseudomonas fluorescens berbentuk gram negatif yang bersumber dari tanah dan air. Suhu perkembangan dari *P. fluorescens* antara 25-30°C tetapi juga dapat bertahan dalam suhu rendah 0°C. *Pseudomonas fluorescens* merupakan bakteri obligat aerob dan oksidase positif. Dalam kondisi anaerobik bakteri ini tidak berkembang. Bakteri *P. fluorescens* mempunyai kemampuan dalam menghasilkan siderofor yang berguna sebagai pengkhelat besi ketika konsentrasi besi rendah. Sebaliknya apabila konsentrasi besi tinggi, *pyoverdine* tidak diperlukan sehingga koloni bakteri tidak akan berpendar di bawah sinar ultraviolet. Di samping itu *P. fluorescens* juga menghasilkan *viscosin* yang dapat meningkatkan *antivirality*.

Metabolit sekunder yang dihasilkan *P. fluorescens* memainkan peranan penting dalam menekan perkembangan penyakit tanaman seperti antibiotik *pyrrolnitrin, pyoluteorin,* dan *2.4-diacetylphloroglucinol* yang menghambat pertumbuhan *phytopatogen. Pseudomonas fluorescens* menghasilkan *hidrogen sianida, pyocheline siderophores* dan *pyoverdine. Pseudomonas fluorescens* menghasilkan *exopolysaccharides* yang digunakan untuk perlindungan terhadap bakteriofag atau dehidrasi serta untuk pertahanan terhadap sistem kekebalan tubuh inang. *Pseudomonas fluorescens* memiliki flagella yang berguna dalam proses metabolisme. Secara khusus, isolat *P. fluorescens* tertentu menghasilkan dari metabolit sekunder *2.4-diacetylphloroglucinol* (2,4-DAPG) dan biokontrol property *antiphytopathegenic* dalam strainnya (Anonymous, 2013).

Semua isolat *P. fluorescens* yang diuji bersifat gram negatif, membentuk enzim katalase dan oksidase positif. Memerlukan oksigen untuk tumbuh (aerob), mampu menghidrolisa pati dan arginin, membentuk enzim gelatinase, melakukan denitrifikasi dan tidak mengakumulasi *poly-hydroxybutirate* (Arwiyanto *et al*., 2007). Yanti *et al*. (2008), melaporkan aplikasi *P. fluorescens* pada tanaman cabai menunjukkan pertumbuhan yang bagus. Hal ini dilihat dari peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, berat basah, berat kering tanaman dan hasil. Di samping itu aplikasi *P. fluorescens* juga dapat meningkatkan pengurangan serangan penyakit pada tanaman cabai.

Menurut Kloepper (1985), ketahanan sistemik terinduksi (*induced systemic resistance*) bergantung pada kolonisasi sistem perakaran oleh PGPR. Kolonisasi oleh PGPR dapat terjadi melalui penyelubungan benih atau penambahan suspensi PGPR ke dalam tanah pada saat pindah tanaman.

2.6 Mekanisme Kerja PGPR

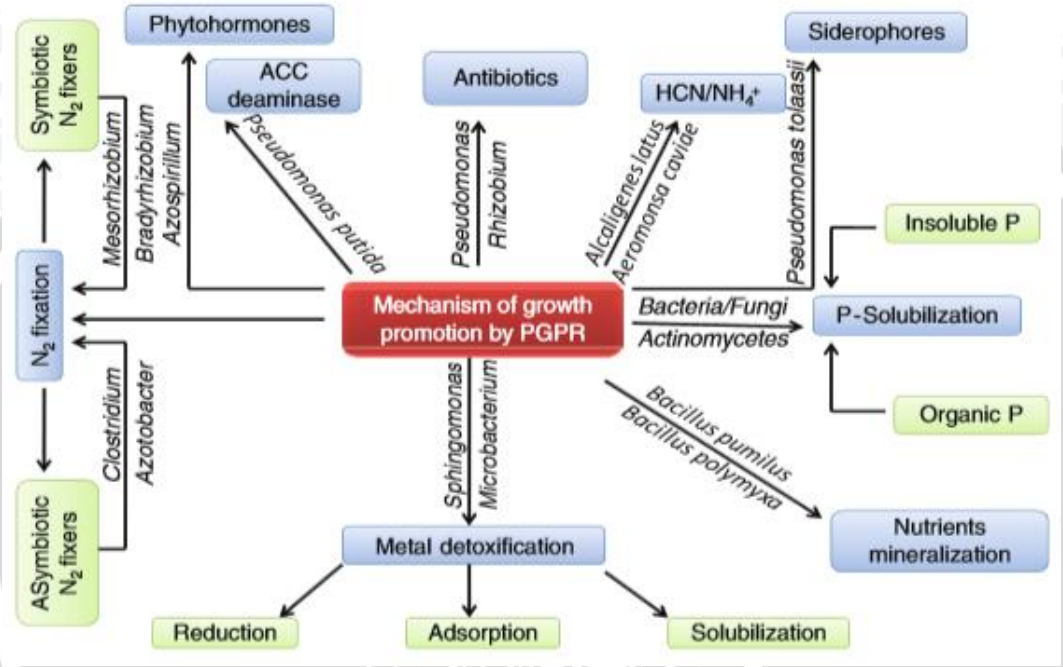
Menurut Glick (2012), PGPR meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan cara langsung dan tidak langsung, tetapi mekanisme spesifiknya tidak hanya melibatkan karakter yang baik. Mekanisme langsung dari *plant growth promotion* oleh PGPR dapat diperlihatkan dalam ketiadaan patogen tanaman. Atau mikroorganisme rizosfer lainnya, sedangkan mekanisme tidak langsung melibatkan kemampuan PGPR dalam menurunkan pengaruh yang merusak / mengganggu dari patogen tanaman terhadap hasil tanaman budidaya.

Pengaruh PGPR secara langsung dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman terjadi melalui bermacam-macam mekanisme, di antaranya fiksasi nitrogen bebas yang ditransfer ke dalam tanaman, produksi siderofor yang meng-khelat besi (Fe) dan membuatnya tersedia bagi akar tanaman, melarutkan mineral seperti fosfor dan sintesis fitohormon. Strain PGPR bisa jadi menggunakan satu atau lebih mekanisme ini dalam rizosfer. Telah diketahui bahwa PGPR mensintesis auksin dan sitokinin atau terlibat dalam sintesis etilen tanaman.

Pengaruh PGPR secara tidak langsung dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman terjadi melalui penekanan dari fitopatogen yang dilakukan melalui mekanisme yang berbeda. Ini termasuk kemampuan dalam memproduksi siderofor yang mengkhelat Fe, menjadikannya tidak tersedia bagi patogen; kemampuan dalam mensintesis metabolit anti fungal seperti antibiotik, dinding sel fungal – lysing enzim atau hidrogen sianida, yang menekan pertumbuhan patogen jamur; kemampuan untuk bersaing secara sukses dengan patogen untuk nutrisi atau unsur hara atau tempat khusus dalam perakaran tanaman; dan kemampuannya dalam menimbulkan resistensi sistemik.

Indikasi adanya mekanisme kerja yang mendukung pertumbuhan oleh PGPR adalah pada saat strain bakteri meningkatkan pertumbuhan secara tidak langsung dengan cara mengubah keseimbangan mikrobia dalam rizosfer. Siderofor

pengkhelat Fe, antibiotik, dan HCN diproduksi oleh beberapa PGPR dan telah dikaitkan dengan kemampuannya mereduksi patogen tanaman serta rizobakteria yang bersifat toksik. Kaitan HCN dalam mendukung pertumbuhan secara langsung melalui penemuan bahwa beberapa rizobakteria yang bersifat toksik menghasilkan HCN, yang menghambat pertumbuhan tanaman dan bahwa rizobakteria yang merugikan ini dapat dihambat oleh beberapa strain PGPR (Schippers, 1988 *dalam* Kloepper *et al*., 1993).



Gambar 1. Mekanisme Kerja Plant Growth Promoting Rhizobacteria (Khan *et al*., 2009)

2.7 Manfaat Mulsa Organik

Mulsa adalah sisa tanaman, lembaran plastik, atau susunan batu yang disebar di permukaan tanah. Mulsa berguna untuk melindungi permukaan tanah dari terpaan hujan, erosi, dan menjaga kelembaban, struktur, kesuburan tanah, serta menghambat pertumbuhan gulma (rumput liar). Evan dan Thurnbull, 2007 (*dalam* Effendi, 2012) menyatakan bahwa pemulsaan merupakan suatu material yang diletakkan disekitar tanaman untuk menekan gulma, mengurangi paparan sinar matahari, dan mempunyai keuntungan tambahan berupa berkurangnya kehilangan air dari permukaan tanah.

Menurut Rujiter dan Agus (2004) mulsa sisa tanaman terdiri dari bahan organik seperti jerami padi, batang jagung. Pangkasan dari tanaman pagar, daun-daun, dan ranting tanaman. Bahan tersebut disebarkan secara merata diatas permukaan tanah setebal 2-5 cm sehingga permukaan tanah tertutup sempurna. Mulsa sisa tanaman dapat memperbaiki kesuburan, struktur, dan cadangan air tanah. Mulsa juga menghalangi pertumbuhan gulma, dan menyangga (buffer) suhu tanah agar tidak terlalu panas dan tidak terlalu dingin. Selain itu, sisa tanaman dapat menarik binatang tanah (seperti cacing), karena kelembaban tanah yang tinggi dan tersedianya bahan organik sebagai makanan cacing. Adanya cacing dan bahan organik akan membantu memperbaiki struktur tanah. Mulsa sisa tanaman akan melapuk dan membusuk karena itu perlu menambahkan mulsa setiap tahun atau musim, tergantung kecepatan pembusukan.

2.8 PGPR dengan Mulsa

Rhizobakteri adalah bakteri yang hidup dan berkembang di daerah sekitar perakaran tanaman. Rhizobakteri dapat berfungsi sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dan sebagai agens antagonis terhadap patogen tanaman. Rizobakteri yang bermanfaat dinamakan PGPR. Penggunaan rizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman atau PGPR sebagai pupuk hayati merupakan satu sumbangan bioteknologi dalam usaha peningkatan produktivitas tanaman. Hal tersebut dicapai dengan mobilisasi hara, produksi hormon tumbuh, fiksasi nitrogen atau pengaktifan mekanisme ketahanan terhadap penyakit (Wei *et al*., 1996; Thakuria *et al*., 2004).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Maunuksela (2004) dan Thakuria *et al*. (2004) melaporkan bahwa beberapa kelompok rizobakteri bersifat sebagai agens hayati memiliki kemampuan memacu pertumbuhan tanaman. Rizobakteri ini berasal dari kelompok *Bacillus* sp., *Pseudomonas fluorescens* dan *Serratia* sp., yang telah dilaporkan mampu memproduksi hormon tumbuh seperti *Indol Asam Asetat* (IAA). Hasil penelitian tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Taufik *et al*. (2005) dan Taufik *et al*. (2010) bahwa aplikasi PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman cabai di rumah kasa. Inokulasi agens hayati *Bacillus formis* melalui perlakuan pada benih sebelum tanam dapat meningkatkan

pertumbuhan tanaman dan hasil kacang tanah lebih dari 19% dibandingkan dengan kontrol (Kishore *et al*., 2005).

Temperatur dan kelembaban secara langsung berpengaruh terhadap mikroorganisme, dan secara tidak langsung terhadap tanaman. Pengaruh tidak langsung inilah yang kelihatannya lebih penting. Beberapa organisme secara nyata dapat langsung beradaptasi dengan rizosfer, namun dalam keberhasilannya membentuk koloni dengan akar dipengaruhi oleh adanya kompetisi dengan organisme lain dan kondisi tanamannya (Bruehl, 1987 *dalam* Dewi, 2007). Perbedaan dalam pola perkembangan perakaran, walaupun sesuai dengan sifatnya, biasanya juga dipengaruhi oleh lingkungan tanah baik secara langsung maupun tidak langsung. Faktor-faktor di atas tanah yang mempengaruhi pertumbuhan tajuk, terutama transport karbohidrat ke akar, dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap pertumbuhan akar, seperti juga faktor-faktor rizosfer yaitu kelembaban, temperatur, kandungan nutrisi, bahan-bahan toksin, kekuatan agregat dan agen biologis.

PGPR mampu menghasilkan IAA dengan bantuan bahan organik. Bahan organik dapat dihasilkan dengan cara pemulsaan dengan menggunakan sisa-sisa tanaman. Mulsa organik merupakan sumber energi bagi mikroorganisme yang hidup di dalam tanah. Salah satu contoh mulsa organik ialah jerami padi. Akhir-akhir ini dilaporkan bahwa mulsa jerami bermanfaat dalam kaitannya dengan upaya pengendalian hama dimana hal tersebut sejalan dengan salah satu fungsi PGPR. Mulsa jerami padi dapat menyebabkan peningkatan kelimpahan artropoda predator serangga hama pada tanaman kedelai, terutama artropoda predator kelompok laba-laba. Selain itu, pemberian mulsa jerami padi bermanfaat bagi artropoda predator sebagai tempat berlindung yang lebih sesuai dan menjadikan iklim mikro lebih kondusif (Subiyakto dan Indrayani, 2008).

Mulsa jerami dapat dimanfaatkan oleh bakteri sebagai bahan dasar untuk menghasilkan IAA. Jerami padi mengandung nitrogen yang apabila dimanfaatkan sebagai mulsa akan mengalami proses dekomposisi oleh akari, kolembola, jamur, dan bakteri. Sehingga dengan penambahan PGPR dapat menciptakan ekosistem alami di dalam tanah dan mampu mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Damaiyanti *et al*. (2013) menambahkan bahwa mulsa organik dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman cabai besar. Hal tersebut dikarenakan mulsa organik dapat mempertahankan kelembaban dan mengurangi suhu tanah, serta menekan pertumbuhan gulma dan mengurangi kompetisi gulma. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan hasil panen pada perlakuan mulsa batang jagung, mulsa jerami dan mulsa orok-orok lebih baik dibandingkan dengan mulsa kara benguk, mulsa kayu apu dan mulsa eceng gondok.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Widjayanti *et al*. (2012) pemanfaatan mulsa jerami dengan penggunaan varietas Gepak Kuning tanaman kedelai memberikan pengaruh yang nyata terhadap keparahan penyakit pustul bakteri dan pertumbuhan. Penambahan mulsa jerami memberikan sumbangan bahan organik pada tanah. Menurut Yusnita dan Darwin (1993) pengaruh jenis mulsa dan varietas pada pertumbuhan dan produksi cabai didapat secara signifikan. Pemberian mulsa meningkatkan bobot kering berangkasan, bobot buah segar per tanaman, jumlah buah per tanaman, dan produksi dua varietas cabai. Secara umum, cabai lokal Lampung berpengaruh pada tiga jenis mulsa (jerami padi, sekam padi, dan plastik hitam) terhadap pertumbuhan dan produksi dengan hasil yang tidak berbeda.