

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Pisang Cavendish

Jenis pisang yang mempunyai genom A tergolong pada jenis pisang makan “*edible banana*”. Jenis ini lazim digolongkan dalam *Musa acuminata*, yang di dalamnya terdapat jenis diploid A, triploid A dan tetraploid A. Pisang olahan “*cooking banana*” digolongkan dalam jenis *M. balbisiana*. Golongan pisang ini yang mempunyai genom A berkombinasi dengan genom B, yang di dalamnya terdapat jenis diploid AB, triploid B, triploid AAB, triploid ABB dan tetraploid ABBB. Pisang Cavendish termasuk dalam golongan *M. acuminata* dengan genom AAA (Stover dan Simmonds, 1987).

#### 2.1.1. Taksonomi Pisang Cavendish CJ30

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Monocotyledoneae
Famili	: Musaceae
Genus	: <i>Musa</i>
Species	: <i>Musa acuminata</i>
Ploidi	: Triploid A (AAA)
Varietas	: <i>Cavendish</i>
Klon	: CJ30 (Cavendish Jepara 30)

Bagian tanaman pisang yang berada di atas permukaan tanah terdiri atas buah yang berupa rangkaian sisir pisang asli yang lazim disebut tandan, sisir-sisir pisang palsu yang tidak membesar dan jantung pisang. Bagian tanaman lainnya

adalah daun, batang/pseudostem dan yang berada di dalam tanah yaitu bonggol/rhizome dan perakaran.

### **2.1.2. Botani Pisang Cavendish**

**Akar.** Sistem perakaran pisang merupakan akar serabut, akar diproduksi dari mulai bibit pisang ditanam hingga tanaman mengeluarkan jantungnya. Akar keluar dari bagian bonggol yang berbatasan dengan pangkal batang palsu (Turner, 2003). Akar primer muncul dua hingga empat helai, tetapi umumnya tiga helai dan diameter akar primer berukuran 5-8 mm. Pada saat baru keluar akar terlihat sehat berwarna putih dan berubah warna menjadi abu-abu atau coklat ketika menjadi mati (Robinson, 2003). Akar primer berumur 5-8 bulan dan perpanjangannya 1,2-4 cm/hari. Pada 3 bulan awal pertumbuhan tanaman sudah diproduksi sebanyak  $\pm$  110 akar primer, akar keluar dari bonggol secara bersamaan 3-4 helai dan akar primer tidak diproduksi lagi pada saat tanaman mengeluarkan jantung. Bonggol pisang dapat mengeluarkan sebanyak 200-500 akar primer (Robinson, 2010).

Umur akar primer antara 4-6 bulan, akar sekunder berumur 8 minggu, akar tersier berumur 5 minggu dan akar rambut berumur  $\pm$  selama 3 minggu (Robinson, 1987 *dalam* Turner *et al.* 2003). Akar pisang 90% terdistribusi pada radius 1 m dan  $\pm$  70% dari total massa akar terakumulasi di lapisan olah tanah pada kedalaman 0-40 cm. Produktifitas pisang berkaitan dengan kondisi fisik, biologi dan kimia tanah sebagai media tumbuh akar dan berkorelasi dengan iklim dan tehnik budidaya yang diterapkan, kesuburan bagian tanaman di atas tanah mencerminkan banyak dan sehatnya keadaan akar (Turner *et al.*, 2003).

**Bonggol (*corm*).** Bonggol pisang merupakan organ batang yang sesungguhnya dari tanaman pisang. Bonggol pisang terdiri atas dua bagian yaitu sentral silinder pada bagian dalam dan korteks merupakan bagian luar yang bersentuhan dengan tanah. Bonggol pisang terus membesar sesuai dengan penambahan umur tanaman, pada tanaman pisang dewasa besar bonggol lebarnya mencapai  $\pm 30$  cm (Stover dan Simmonds, 1987). Bonggol pisang yang terpendam di dalam tanah merupakan tempat keluarnya akar dan anakan (Nakasone dan Paull, 2010). Tempat keluarnya daun dan buah berasal dari bagian yang berada di atas tanah (Stover dan Simmonds, 1987).

Seluruh bagian bonggol pisang umumnya terbenam di dalam tanah, sehingga semua akar yang keluar dari bonggol akan terfasilitasi pertumbuhan dan perkembangannya di dalam tanah. Bagian tengah atas bonggol merupakan titik tumbuh. Pada fase vegetatif, titik tumbuh nampak datar dan memasuki fase generatif bagian titik tumbuh meruncing ke atas yang merupakan indikasi bakal bunga mulai terbentuk. (Stover dan Simmonds, 1987).

**Batang semu (*Pseudostem*).** Batang pisang yang umum dikenal sebenarnya adalah susunan tangkai daun atau pelepah yang berpangkal pada bonggol dan berujung sebagai lamina daun. Susunan pelepah sangat rapi, saling overlap dari bagian dalam sampai terluar (Nakasone dan Paull, 2010). Konfigurasi antara tiap pelepah daun tersusun melingkar, kompak, rapat dan tebal membentuk batang tanaman yang disebut *pseudostem* atau batang palsu (Stover dan Simmonds, 1987).

Pertambahan tinggi batang sejalan dengan bertambahnya daun, dan tinggi tanaman maksimum terjadi pada saat tanaman mengeluarkan jantung pisang. Batang pisang umumnya mampu memikul beban tandan pisang seberat 50 kg, akan tetapi batang tersebut 95% tersusun dari air, sehingga dibutuhkan penopangan untuk mencegah roboh akibat hembusan angin kencang (Robinson dan Sauco, 2010). Jumlah pelepah pisang yang membentuk batang pada saat buah siap dipanen tersusun dari sebanyak  $\pm 20$  pelepah pisang dan rata-rata lingkaran batang yang optimal  $\pm 80$  cm. Tinggi batang pisang Cavendish bervariasi dari jenis yang pendek hingga tinggi yaitu berkisar dari 1.5-4 m (NTF, tidak dipublikasikan).

**Daun.** Daun pisang diproduksi oleh tanaman mulai dari awal tanam hingga keluarnya jantung pisang, daun keluar dari bagian sentral meristem bonggol pisang (Robinson dan Sauco, 2010). Kecepatan keluarnya satu daun dipengaruhi oleh kecepatan fase pertumbuhan tanaman, kesuburan tanah dan musim. Semakin cepat pertumbuhan tanaman, maka akan semakin cepat pula jumlah daun yang diproduksi. Filotaksi daun pisang berubah sesuai dengan pertumbuhan tanaman. Filotaksi pada tanaman anakan kecil mengikuti rumus  $1/3$ ,  $2/5$ , dan  $3/7$ , sedangkan pada tanaman besar  $4/9$  (Stover dan Simmonds, 1987). Filotaksi daun berhubungan dengan sudut yang terbentuk antar tepi pelepah daun yang berurutan dan sudut yang terbentuk akan semakin besar dengan meningkatnya umur tanaman (Edison *et al.*, 1996).

Banyaknya daun pisang yang diproduksi dari tanam hingga keluar jantung pisang sebanyak  $\pm 40-43$  helai daun. Produksi daun pada umur 1-2 bulan sebanyak 1,2

lembar daun tiap minggu, umur 3-5 bulan sebanyak 1,5 lembar daun tiap minggu dan di atas 5 bulan diproduksi sebanyak 0,8 daun tiap minggu, sehingga rata-rata produksi daunnya sebanyak 0,9 daun tiap minggu (NTF, tidak dipublikasikan).

Perpanjangan daun berkisar antara 0,20-0,86 cm/jam (Edison *et al.*, 1996).

Menurut Stover dan Simmond (1987) umur daun pisang berkisar 130-180 hari.

Umur satu helai daun pisang di NTF berkisar 90-105 hari. Faktor yang mengakibatkan tidak berfungsinya daun adalah infeksi cendawan yang menyebabkan penyakit Sigatoka dan Freckles serta kekurangan nutrisi.

Ukuran daun pisang Cavendish lebar antara 0,7 – 1,0 m dan panjang 1,5 – 2,9 m (Robinson dan Sauco, 2010). Stomata pada daun pisang terdapat di kedua permukaan daun. Jumlah stomata pada permukaan bawah daun sebanyak 168 tiap mm<sup>2</sup> dan jumlah tersebut 3-4 kali jumlah stomata pada permukaan atas daun pada pisang Ambon yang merupakan kerabat pisang Cavendish (Skutch, 1927 *dalam* Stover dan Simmond, 1987). Jumlah daun pada saat keluar jantung antara 10-15 helai. Jumlah daun pada saat keluar jantung berkorelasi positif dengan berat tandan pada saat dipanen (Nakasone dan Paull, 2010). Sudut daun antar klon sedikit berbeda, sehingga berpengaruh terhadap populasi tanaman per satuan lahan. Indeks luas daun pada tanaman kecil  $\pm 1,5$  dan tanaman dewasa  $\pm 2,0$  (NTF, tidak dipublikasikan).

**Jantung dan tandan (*Bud dan Bunch*).** Bunga jantan pisang Cavendish bersifat steril, sehingga belum pernah ditemukan ada biji di dalam daging buahnya (Edison *et al.*, 1996). Primordia bunga atau bakal buah pisang mulai terbentuk pada saat tanaman berumur sekitar 3 bulan setelah tanam. Kondisi ini ditandai

dengan bagian ujung meristem naik dari bagian atas bonggol pisang dan akan terus naik di dalam batang pisang yang berakhir dengan keluarnya jantung pisang. Waktu tercepat yang dibutuhkan dari tanam hingga keluar jantung yaitu 6 bulan (NTF, tidak dipublikasikan). Banyaknya jumlah sisir pisang sudah terbentuk ketika bakal buah masih berada di dalam batang pisang sebelum jantung keluar, dan dilanjutkan dengan pembesaran dan pengisian daging buah (Stover dan Simmond, 1987).

Waktu yang dibutuhkan dari mulai jantung pisang keluar hingga terbukanya sisir pertama membutuhkan waktu 7 hari dan membukanya tiap sisir  $\pm 1,5$  sisir tiap hari. Perpanjangan jari pisang terjadi hingga 30 hari setelah sisir pisang terbuka dan pengisian daging buah bertambah secara linier hingga buah siap panen pada umur 12-14 minggu setelah keluar jantung (NTF, tidak dipublikasikan).

Perpanjangan jari pisang mencapai 50-64% hingga 14 hari setelah sisir terbuka dan pengisian daging buah terjadi secara linier hingga buah siap dipanen (Stover dan Simmonds, 1987).

Setiap klon Cavendish mempunyai potensi jumlah sisir yang berbeda. Potensi sisir tertinggi di NTF mencapai 16 sisir tiap tandan. Jumlah jari pisang sebanyak 14-32 buah tiap sisirnya. Buah pisang masak di pohon  $\pm 18$  minggu setelah jantung pisang keluar, sedangkan umur panennya yaitu 12-14 minggu setelah jantung pisang keluar (NTF, tidak dipublikasikan). Untuk tujuan komersial, besar buah yang dipanen berukuran 75% dari potensi ukuran maksimal diameter buah (Nakasone dan Paull, 2010). Panjang buah pada saat panen 14-27 cm dan diameternya 2,9-4,0 cm. Klon Cavendish memiliki ukuran sisir teratas dan

terbawah relatif sama dan ada tandannya mengerucut ke bawah. Rasio buah pisang sebesar 62% untuk daging pisangnya dan kulit buah 38% dari total berat satu buah pisang dan tingkat kemanisan buah bervariasi dari 19-21<sup>0</sup>Brix pada saat masak (NTF, tidak dipublikasikan).

**Anakan (sucker atau follower).** Pada umumnya material tanam pisang berasal dari anakan pedang dan bibit kultur jaringan. Tanaman pisang dari tanam sampai panen dapat menghasilkan hingga 20 anakan pedang. Pertama kali induk mengeluarkan anakan yaitu pada umur 2 bulan setelah tanam dan akan terus mengeluarkan anakan hingga panen. Anakan yang dihasilkan dari tanaman yang belum panen atau masih di bawah asuhan tanaman induk disebut anakan pedang. Anakan yang keluar dari induk yang telah dipanen atau tidak dibawah asuhan tanaman induk disebut anakan air. Anakan pedang mempunyai ciri-ciri batang semu dari pangkal mengerucut ke ujung, kekar, lamina daun sempit seperti pedang. Anakan air batangnya tidak mengerucut, kurang kokoh dan lamina daunnya lebar. Bonggol anakan pedang lebih besar dibandingkan dengan anakan air. Anakan pedang lazim digunakan sebagai material tanam. Umumnya umur anakan yang digunakan untuk material tanam berumur 1-3 bulan. Anakan dapat langsung ditanam dengan daunnya, menanam bonggolnya saja atau ditanam di polybag terlebih dahulu.

### **2.1.3. Budidaya Tanaman Pisang di NTF**

Secara umum budidaya pisang dibagi menjadi dua tahap umur tanaman. Periode pertumbuhan awal atau belum berbuah disebut perawatan tanaman (*plant care*) dan periode berbuah disebut perawatan buah (*fruit care*). Perawatan tanaman

dititikberatkan pada upaya untuk dapat menumbuhkan tanaman seoptimal mungkin. Perawatan buah difokuskan untuk memfasilitasi buah dapat dipanen dengan kualitas yang seoptimal mungkin.

**Material tanam.** Material tanam yang digunakan untuk penanaman skala masif adalah bibit yang berasal dari perbanyakan secara kultur jaringan dan anakan pedang yang kecil. Bibit kultur jaringan hanya memerlukan anakan dengan jumlah sedikit untuk perbanyakan, anakan dipilih dari tanaman induk yang genjah, produktivitas tinggi dan bebas dari *vascular diseases*. Kelebihan bibit kultur jaringan adalah dapat disiapkan dalam jumlah besar, relatif seragam dan bebas hama penyakit. Kekurangannya adalah memerlukan waktu yang cukup lama untuk mempersiapkannya.

Bibit kultur jaringan lebih diutamakan sebagai material tanam, akan tetapi dalam keadaan kekurangan dapat menggunakan bibit yang berasal dari anakan pedang. Bibit dari anakan dapat pula diupayakan dalam skala masif asalkan terdapat sejumlah besar tanaman induk. Kekurangannya adalah tidak mudah mendapatkan anakan yang berasal dari induk yang berkualitas dalam jumlah banyak, terinfeksi *vascular diseases*, daya tumbuh di pembibitan rendah, umur bibit relatif tidak seragam. Kelebihan bibit dari anakan adalah penyiapan bibit relatif lebih cepat, apabila jumlah tanaman induk cukup banyak.

**Persiapan lahan.** Pengolahan tanah dan pembuatan drainase air. Pemantauan dan pengkondisian tingkat keasaman tanah dengan pengapuran hingga mencapai level pH 6,5. Pengolahan lahan tanam diperlukan untuk menciptakan keremahan lahan tanam hingga kedalaman 40 cm, sehingga 80% massa akar tanaman dapat



tumbuh dan berkembang dengan optimal. Pembuatan drainase disesuaikan dengan kemiringan lahan tanam, sehingga kelebihan air pada musim hujan dapat dengan tuntas dialirkan keluar dari pertanaman pisang. Tahapan pengolahan lahan berturut-turut adalah *disclow*/pembajakan, kemudian *cronavator* penyempurnaan bajak dan *ridger*/lubang tanam palir (pembuatan lubang tanam menggunakan bajak).

**Penanaman.** Penanaman sebaiknya dilakukan segera setelah pengolahan tanah selesai, sehingga gulma tidak menjadi masalah di awal pertumbuhan tanaman. Saluran pembuangan air hujan sudah dibuat bersamaan dengan pengolahan tanah, sehingga tidak ada genangan air di sekitar tanaman. Penanaman pisang di satu lokasi tanam harus dilakukan dalam waktu yang relatif singkat, yaitu 1-2 hari saja dan menggunakan bibit yang sudah diseleksi kesehatan dan keseragamannya. Sistem budidaya pisang yang menerapkan satu kali tanam dan satu kali panen, mengharapkan pemanenan pisang dapat dilakukan pada periode waktu yang tidak terlalu lama dalam satu lahan pertanaman. Penggunaan bibit yang seragam, penanaman yang relatif singkat dan perawatan tanaman yang optimal akan menghasilkan pertumbuhan tanaman yang relatif seragam dan berdampak pada waktu keluar jantung dan panen yang relatif berdekatan waktunya dalam satu lokasi tanam.

**Perawatan tanaman belum berbuah.** Aktifitas perawatan tanaman pada fase vegetatif meliputi pemupukan, pengendalian gulma secara mekanis atau menggunakan herbisida, irigasi pada musim kemarau, pembuangan anakan, pemotongan daun yang sudah tidak berfungsi, pengendalian hama dan penyakit

(penyakit daun, hama ulat grayak pemakan daun, hama penggulung daun, Thrips, Scabmoth, penggerek bonggol, serangga vektor virus, penyakit yang disebabkan oleh virus pisang, layu fusarium dan *R. solanacearum*). Semua aktifitas dilakukan disesuaikan dengan kebutuhan tanaman.

**Perawatan tanaman berbuah.** Orientasi perawatan tanaman berbuah lebih mengarah mengantisipasi dan merawat buah pisang, sehingga dapat dipanen dengan kualitas yang prima. Aktifitas perawatan buah yang dilakukan adalah pemasangan bambu penyangga tanaman, penyuntikan insektisida ke dalam jantung pisang, spray fungisida pada sisir pisang yang baru terbuka, pembungkusan buah pisang pada saat jantung pisang baru merunduk dan pembuangan sesuatu yang mengakibatkan pergesekan dengan buah pisang. Aktifitas rutin lainnya adalah pengendalian rumput menggunakan herbisida, irigasi terutama pada musim kemarau, pengendalian jamur daun, pengendalian hama penggulung daun, eradikasi penyakit yang disebabkan oleh virus, layu fusarium dan *R. solanacearum*, pemotongan daun yang sudah tidak berfungsi dan pembuangan anakan.

**Panen.** Pemanenan buah dilakukan pada buah yang berumur antara 11-14 minggu setelah keluar jantung atau 9—11 minggu setelah sisir pisang terakhir terbuka dan diameter jari pisang pada sisir kedua dari bawah sudah mencapai diameter 3 cm. Pemanenan dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan kulit buah pisang, dengan cara tandan pisang yang dipotong dari tanaman langsung ditempatkan pada *shoulder pad* yang terbuat dari busa untuk

dibawa ke *cableway*. Buah di bawa secara hati-hati dan sesegera mungkin ke *packing house*.

**Pengepakan.** Buah yang dapat diproses harus memenuhi kriteria berukuran diameter 3-3,4 cm dan panjang 17,8-24 cm, bersih dari kotoran, cacat, luka, gejala penyakit, dan terpotong pisau. Urutan pemrosesan buah pisang hingga siap dijual berturut-turut adalah melepaskan plastik/paperbag, membuang sisa bunga pada ujung buah, melepaskan sisir-sisir buah pisang kemudian dimasukkan ke dalam bak pertama (*dehanding tank*), pembuatan kelas buah (*hand, cluster, double finger* atau *finger*) kemudian dimasukkan ke dalam bak kedua (*floatation tank*), penimbangan, penyemprotan larutan fungisida dan alum pada tangkai pisang bekas potongan pisau, pengeringan buah menggunakan kipas angin, pelabelan, pengepakan (kemasan 13 kg/box, 18 kg/box dan 25 kg/box) dan terakhir aktifitas muat ke dalam truk atau kontainer. Buah yang sudah dimuat untuk tujuan domestik, kendaraan langsung berangkat ke tempat tujuan. Sedangkan untuk tujuan ekspor buah dimasukkan ke dalam kontainer dengan temperatur terkontrol dibawa ke pelabuhan untuk dikapalkan.

**Pematangan buah.** Buah yang sudah dikemas dalam kotak karton dimasukkan ke dalam ruang *precooling* selama 24 jam pada suhu 16<sup>0</sup>C, kemudian buah siap untuk dimatangkan dengan pemberian gas *ethylene* sebanyak 0.1% volume ruang pematangan. Suhu dalam ruang pematangan harus stabil pada 16,6-17,7<sup>0</sup>C dan kelembaban 85-95%. Setelah 24 jam ruangan dibuka satu sampai 2 jam untuk membuang sisa gas *ethylene*. Tiga hari kemudian ruang pematangan dibuka

kembali dan kulit buah pisang sudah terlihat semburat warna kuning (standar kematangan 3) dan buah pisang siap untuk dipasarkan.

## 2.2. Layu fusarium

Klasifikasi patogen penyebab penyakit layu fusarium adalah:

Kingdom : Fungi  
 Divisi : Deuteromycota/Ascomyceta  
 Subdivisi : Deuteromycotina  
 Klas : Hyphomycetes/Sardoriomycetes  
 Ordo : Moniliales/Hypocreales  
 Famili : Turbiculariaceae/Nectriaceae  
 Genus : *Fusarium*  
 Species : *F.oxysporum* f.sp. cubense (E. F. Sm)

**Ras Foc dan VCG.** Menurut klasifikasi lama yang diusulkan Stover (1962) ada tiga ras Foc yang menyebabkan layu fusarium pada tanaman pisang yaitu ras 1, ras 2 dan ras 4, sedangkan ras 3 menyerang pisang hias (*heliconia*). Saat ini banyak isolat Foc dikumpulkan dari seluruh dunia untuk digunakan dalam uji kompatibilitas vegetatifnya. Pengujian menggunakan uji DNA dengan penanda RAPD (*Randomly Amplified Polymorphic DNA*) dan DAF (*DNA Amplification Fingerprinting*). Pengujian ini bertujuan untuk mengklasifikasi secara VCG (*Vegetative Compatibility Groups*). Pengujian perbedaan VCG melalui serangkaian proses pengujian pada medium tertentu untuk mendapatkan keragaman kariotipe (Miao, 1990).

Foc ras 4 memiliki empat VCG berbeda yang menyerang pisang Cavendish yang tersebar di seluruh dunia. Diantara keempat VCG Foc ras 4, ras 4 Tropika merupakan Foc paling destruktif yang penyebarannya terutama di daerah tropis (Robinson, 2010). Jenis pisang dengan genom AA, AAA, AB, AAB dan ABB

semua rentan terhadap Foc ras 4 T. di Asia tenggara VCG 1213 merupakan Foc ras 4 T (Ploetz, 2008 *dalam* Robinson, 2010). Berdasarkan studi terbaru Buddenhagen (2009), merekomendasikan merubah konsep ras menjadi strain, yang diidentifikasi melalui analisis VCG dan nomor yang diberikan. Berdasarkan klasifikasi modern Foc ras 4 T adalah strain VCG 01213.

VCG 01213-1216 merupakan strain Foc yang berasal dari bagian utara Australia, Indonesia (Halmahera, Irian Barat, Jawa, Sulawesi dan Sumatera), Malaysia bagian barat dan Taiwan. Jenis pisang yang rentan terhadap serangan Foc VCG 01213-1216 adalah : AAA (Pisang Ambon, Valeri, William, Novaria, Grand Nain, Nangka, Raja Udang, Merah, Susu dan Barangan), AAB (Pisang Raja Sereh, Rastali, Raja, Relong), ABB (Pisang Awak, Awak Legor, Saba, Kepok, Caputu, Kosta) (Jones, 2000).

**Gejala yang ditimbulkan.** Gejala yang terlihat pertama kali dari serangan layu fusarium adalah penguningan tepi daun tua, akan tetapi infeksi terjadi melalui akar (Robinson, 2003). Selain penguningan lamina daun, gejala lainnya dapat terjadi berupa patahnya petiole daun pada perbatasan dengan batang pisang walaupun daun masih hijau. Nekrosis pada bagian tepi daun yang masih menggulung juga merupakan gejala yang umum terjadi. Gejala lain terkadang batang bagian bawah pecah (*Stem Splitting*) (Stover, 1972). Terdapat beberapa variasi gejala eksternal, diketahui bahwa strain Foc yang berbeda menghasilkan gejala eksternal yang berbeda, misalnya terjadi penguningan daun atau tidak menguning (Wardlaw, 1972). Meskipun gejala pertama kali terlihat pada daun,

akan tetapi tempat terjadinya infeksi terjadi pada sistem perakaran (Robinson, 2003).

Patogen masuk ke dalam jaringan akar yang luka dan kemudian menyebar melalui jaringan xilem masuk ke bonggol dan batang (Robinson, 2003). Gejala internal diawali dengan terjadinya perubahan warna xilem dari putih menjadi merah kecoklatan di dalam pelepah daun. Gejala serupa tidak muncul pada daging buah pisang. Perubahan warna bonggol pisang terutama pada bagian antara jaringan sentral silinder dan korteks. Pemotongan secara melintang jaringan tanaman pisang akan didapat mikrokonidia *Foc* pada jaringan xilem (Stover, 1972). Apabila batang dipotong melintang, maka akan terlihat jaringannya berwarna coklat (Wardlaw, 1961). Karakteristik gejala internal dari layu fusarium terjadinya perubahan warna jaringan xilem tanaman menjadi kemerahan atau coklat (Jones, 2000).

Infeksi dapat terjadi pada semua stadia pertumbuhan tanaman, yaitu pada anakan kecil hingga tanaman yang sudah berbuah (Wardlaw, 1961). Pada tanaman yang rentan, serangan awal layu fusarium terjadi pada umur yang relatif lebih muda. Proses penguningan daun lebih cepat, kerusakan jaringan xilem lebih parah dan tanaman roboh lebih cepat dibandingkan dengan tanaman yang lebih toleran (NTF, tidak dipublikasikan). Deteksi dini layu fusarium pada siang hari dapat dilakukan dengan cara memegang lamina daunnya, tanaman pisang yang terserang layu fusarium daun lebih hangat dibandingkan dengan tanaman sehat (Buddenhagen komunikasi personal).

**Patogenisitas.** Infeksi Foc terutama terjadi pada saat keluarnya akar lateral. Foc tidak dapat masuk menginfeksi akar dengan secara langsung, melalui luka ataupun inokulasi pada bonggol atau batang. Infeksi Foc dapat terjadi melalui luka yang baru pada akar utama. Anakan dapat tertular melalui bonggol yang menyatu dengan induk. Umumnya infeksi Foc terjadi melalui akar. Foc akan tetap di xilem hingga stadium infeksi dan kemudian invasi menuju parenkim. Invasi Foc pada akar lateral dan akar primer dapat dihentikan sebelum mencapai stele bonggol melalui mekanisme pertahanan tanaman. Penyumbatan jaringan xilem oleh gel, tilosis dan hancurnya jaringan tanaman dapat menghambat perkembangan dan pergerakan spora Foc di dalam xilem. Penghambatan terhadap gerakan Foc pada klon resisten berasosiasi dengan keseimbangan zat kimia dan tanggapan xilem yang menghambat gerakan Foc (Stover dan Simmonds, 1987).

Terbentuknya tilosis dalam xilem distimulasi oleh adanya IAA dan dopamin yang dihasilkan oleh Foc. Gejala merah kecoklatan pada jaringan xilem merupakan terbentuknya senyawa fenol (Stover, 1972). Senyawa fenol yang dihasilkan mengakibatkan jaringan tanaman terjadi lignifikasi yang merupakan mekanisme pertahanan tanaman terhadap invasi Foc (Jones, 2000). Gel yang terbentuk pada tanaman resisten ataupun rentan mengandung senyawa protopektin dan asam pektat yang sama, akan tetapi tanaman yang resisten mempunyai hemiselulosa B yang lebih banyak dibandingkan dengan tanaman yang rentan. Hemiselulosa B berperan sebagai senyawa yang meningkatkan ketahanan tanaman terhadap enzim yang dihasilkan oleh Foc. Selain itu, pada jaringan tanaman yang terserang layu fusarium terjadi perubahan pH cairan sel antara 2,5/3,0 – 4,5/5,0. Perubahan pH

tersebut dimungkinkan karena adanya perubahan akumulasi CO<sub>2</sub> dan fiksasi yang mengakibatkan meningkatnya laju respirasi tanaman (Stover, 1972)

**Pengaruh secara ekonomi.** Foc mengakibatkan hancurnya sebagian besar perkebunan pisang Gros Michel di Amerika Tengah dan Karibia antara tahun 1910 dan 1955 (Stover dan Simmonds, 1987). Kehancuran perkebunan pisang Gros Michel seluas 40.000 ha tersebut diakibatkan oleh Foc ras 1 (Robinson, 2010). Setelah itu varietas pisang Gros Michel digantikan dengan varietas Cavendish yang resisten terhadap Foc ras 1, keduanya secara genetis sama-sama triploid A. Penanaman Cavendish dimulai pada semester awal tahun 1950 an (Stover dan Simmonds, 1987).

Foc ras 4 mulai menghancurkan 6.000 ha varietas Cavendish pada akhir tahun 1965 di Taiwan (Robinson dan Saucó, 2010) dan pada tahun 1970 menyerang kebun-kebun di Queensland Selatan dan di Afrika Selatan. Kemunculan Foc ras 4 di ketiga daerah tersebut terjadi secara terpisah dan tidak terdapat keterkaitan, hal tersebut dimungkinkan seperti Foc ras 1 yang diketahui pertama kali pada tahun 1900 an di Australia dan 1940 terjadi di Afrika Selatan (Stover dan Simmonds, 1987). Serangan Foc ras 4 juga telah menghancurkan pertanaman pisang di Halmahera, Sumatera, Jawa dan Johor Malaysia (Jones, 2000). Di NTF serangan Foc ras 4 telah menghabiskan 1.500 ha pertanaman pisang Cavendish klon Valeri, pada saat ini Filipina dan China juga mengalami masalah Foc ras 4.

**Pengendalian layu fusarium di NTF.** Gejala layu fusarium pertama kali ditemukan di NTF pada bulan Juni tahun 1993. Pertanaman Cavendish klon Valeri ± 1.500 ha habis terserang layu fusarium pada tahun 1996. Pengendalian



layu fusarium dilakukan dengan cara mengeradikasi tanaman terserang. Langkah yang dilakukan yaitu, tanaman terinfeksi dipotong kecil-kecil kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik hitam, kemudian dituangkan larutan Formalin 33,3% sebanyak 2 l ke dalamnya, lalu dilakukan penalian yang kuat, sehingga proses fumigasi berlangsung dengan sempurna. Tanah di sekeliling tanaman terinfeksi pada radius 1,5 m<sup>2</sup> dicangkul, lalu disiram dengan larutan formalin 33,3% sebanyak 2 l secara merata, terakhir tanah tersebut ditutup dengan plastik hitam sehingga proses fumigasi berlangsung dengan sempurna. Sangat dimungkinkan lahan di NTF sebenarnya sudah terdapat Foc, sehingga proses infeksi terjadi sedikit demi sedikit meluas dan menghabiskan semua tanaman pisang Cavendish.

Pada tahun 1995 Dr. S.C. Hwang seorang pemulia tanaman dari TBRI (*Taiwan Banana Research Institute*) memperkenalkan pisang Cavendish klon GCTCV 119 (DM2) di NTF yang relatif toleran terhadap Foc ras 4. Pada periode tahun 1997 - 2004 dilakukan penanaman klon DM2, dengan keterjadian layu fusarium sebesar  $\pm 15\%$ . Pengendalian layu fusarium dilakukan dengan cara menyuntik tanaman terinfeksi menggunakan herbisida Glifosat sebanyak 10 ml/tanaman. Upaya perbaikan sistem budidaya dengan cara : (1) peningkatan kualitas bibit kultur jaringan, (2) penanaman satu kali tanam satu kali panen, (3) peningkatan kandungan bahan organik tanah dengan penambahan kotoran sapi, limbah kulit singkong dan residu tanaman pisang, (4) mengkaji pemupukan yang berimbang, (5) pengupayakan optimalisasi pH tanah.

Pada tahun 2010 hingga kini terjadi penurunan keterjadian layu fusarium secara drastis hingga hanya  $\pm 2.5\%$ , adapun langkah yang dilakukan dengan cara menyempurnakan tehnik budidaya pisang secara terintegrasi yaitu, (1) penggunaan bibit kultur jaringan yang berasal dari tanaman induk yang genjah, produksi tinggi dan bebas penyakit, (2) pengolahan tanah dengan kedalaman  $\pm 40$  cm, (3) pembuangan anakan pisang dipotong tepat di atas permukaan tanah, (4) aktifitas pengendalian rumput secara mekanis hanya diperkenankan pada tanaman pisang yang masih berumur 0-2 bulan, di atas umur dua bulan pengendalian rumput dilakukan dengan herbisida, (5) mengkondisikan pH tanah berada pada kisaran 5,5 – 6,5 selama pertumbuhan pisang, (6) melakukan pemupukan yang memadai dan berimbang selama pertumbuhan tanaman, cara yang dilakukan dengan memonitoring status hara tanah dan analisis daun secara periodik untuk mengetahui kecukupan nutrisi bagi tanaman, (7) mencukupi kebutuhan air bagi tanaman terutama di musim kemarau, pemberian air sebanyak 7 mm/hari atau setara dengan 7 l air/tanaman/hari, (8) pembuatan saluran pembuangan air di tengah antar baris tanaman, untuk mencegah terjadinya genangan air disekitar tanaman, (9) rotasi tanam pisang dengan tanaman nanas *fresh fruit* 'Honi Pineapple'.

### **2.3. *Basillus subtilis***

Bakteri ini dicirikan sebagai gram positif, berbentuk batang, bersel satu, berukuran  $(0.5-2.5) \times (1.2-10) \mu\text{m}$ , bersifat aerob atau anaerob fakultatif serta heterotrof, katalase positif. Sel gerak yang membentuk endospora elips lebih tahan dari pada sel vegetatif terhadap panas, kering, dan faktor lingkungan lain

yang merusak. *B. subtilis* memiliki sistem fisiologi yang berbeda dari bakteri tak patogen, yang relatif mudah dimanipulasi secara genetik dan sederhana dibiakkan (Soesanto, 2013).

Mekanisme penghambatan bakteri antagonis *B. subtilis* adalah melalui antibiosis, persaingan dan pemacu pertumbuhan. *B. subtilis* menghasilkan antibiotika yang bersifat racun terhadap mikroorganisme lain. Antibiotika yang dihasilkan antara lain streptovidin, basitrasin, surfaktin, fengisin, iturin A, polimiksin, difisidin, subtilin, subtilosin dan mikrobasilin. Subtilosin merupakan protein, subtilin merupakan senyawa peptida sedangkan surfaktin, fengisin dan iturin A merupakan lipoprotein. Basitrasin merupakan polipeptida yang efektif terhadap bakteri gram positif dan bekerja menghambat pertumbuhan dinding sel. Bakteri *B. subtilis* menghasilkan enzim protease, amilase dan kulinase yang berperan sebagai enzim pengurai dinding sel patogen (Soesanto,2013).

Mekanisme antagonis lain *B. subtilis* bersaing dengan patogen tular tanah dalam hal ruang untuk hidup dan makanan yang berasal dari eksudat akar atau bahan organik yang ada di dalam tanah. *B. subtilis* dapat dengan cepat mengkoloni akar tanaman, sehingga patogen terhalang untuk mencapai permukaan akar. Selain itu, bakteri antagonis juga menghasilkan hormon auksin yang secara langsung merangsang pertumbuhan akar, sehingga dikenal sebagai PGPR. *B. subtilis* juga secara tidak langsung membantu tanaman menyediakan atau melarutkan unsur hara dengan bantuan enzim fitase, sehingga mudah diserap akar. Fenomena ini membuktikan bahwa bakteri mampu melindungi tanaman dengan jalan mengkoloni

daerah perakaran tanaman, serta meningkatkan pertumbuhan tanaman (Soesanto,2013).

*B. subtilis* RRC101 dapat melindungi tanaman jagung terhadap infeksi patogen sebaik mikroorganisme yang bersifat endofit. *B. subtilis* RRC101 telah dipatenkan dengan nomor 5.994.117. Beberapa kasus lain, daya kendali *B. subtilis* terhadap patogen dapat mengendalikan karat buncis dipertanaman dan lebih efektif dibandingkan fungisida Mancozeb. Bakteri ini juga mampu menurunkan pertumbuhan *Rhizoctonia solani* pada ruas daun padi dan menekan perkembangan penyakit hawar pelepah daun, mampu meningkatkan berat kering akar, pembintilan dan cepat berkecambah (Soesanto,2013).

Selain itu, *B. subtilis* menurunkan keterjadian penyakit yang disebabkan oleh *Rhizoctonia sp.*, *Fusarium sp.*, *Pseudomonas solanacearum*, *R. solanacearum*, *Sclerotium cepivorum*, *F.solani*, *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici*, *Phytophthora capsici*, *F. moniliforme*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum*, *Colletotrichum graminicola*, *Diplodia zea*, *Helminthosporium carbonum*, *Penicillium chrysogenum*, *Phytium sp.*, *R. solani*, *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*. *B. subtilis* dipakai sebagai inokulan benih pada kapas dan kacang tanah, karena dapat mendorong peningkatan biomassa akar, pembintilan, dan perkecambahan awal, disamping menurunkan keterjadian penyakit yang diakibatkan oleh *Rhizoctonia sp.* dan *Fusarium sp.* (Soesanto, 2008).

Perlakuan benih menggunakan *B. subtilis* strain A13 atau *Streptomyces sp.* yang dilarutkan dalam air atau tepung pada benih sereal, jagung manis dan wortel dapat melindungi tanaman terhadap serangan patogen akar dan menghasilkan

pertumbuhan tanaman dan hasil panen yang lebih baik. Penyemprotan daun menggunakan *B. subtilis* dapat menurunkan intensitas serangan luka daun apel yang diakibatkan oleh *Nectria galligena*. Perlakuan pascapanen suspensi *B. subtilis* dilakukan terhadap *stone fruit, namely, peaches, nectarines, apricot* dan *plum* untuk mencegah serangan *brown rot* yang diakibatkan oleh *Monilinia fructicola* dan dapat mencegah kerusakan alpukat akibat patogen di penyimpanan (Agrios, 1997).

Keefektifan *B. subtilis* yang dipadukan dengan mikroorganisme antagonis lain untuk mengendalikan patogen terbukti pada penggabungan *B. subtilis* dan *B. pumilus* untuk melindungi tanaman gandum dari penyakit yang disebabkan oleh *Rhizoctonia* sp.. Penggabungan tiga PGPR yaitu *B. pumilus*, *B. subtilis* dan *Curtobacterium falcumfaciens* menghasilkan pengendalian yang jauh lebih besar terhadap beberapa patogen pada mentimun bila dibandingkan dengan penggunaan tunggal. Species *Bacillus* telah terbukti berperan sebagai agensia pengendali hayati yang baik. Kesulitan utama dengan penggunaan *Bacillus* spp. adalah pengendalian sering sangat beragam dengan hasil yang sangat berbeda dan bahkan pada bagian yang berbeda dari lokasi yang sama. Bakteri antagonis ini juga dapat digabung penerapannya dengan fungisida dan dapat meningkatkan hasil hingga 10% dibandingkan dengan penggunaan fungisida tunggal (Soesanto, 2008).

#### **2.4. *Streptomyces angustmyceticus***

*Streptomyces* adalah mikroorganisme tanah yang secara umum berperan sebagai saprofit. Sebagian besar hidupnya sebagai spora dan diketahui sebagai penghasil antibiotik. Sebagian besar antibiotik dihasilkan oleh *Streptomyces*. Antibiotik

merupakan substansi yang bersifat toksik terhadap mikroorganisme lain, sehingga melindungi akar tanaman dari invasi patogen. *Streptomyces* digunakan sebagai agen pengendali hayati beberapa penyakit layu pada tanaman termasuk Foc ras 4. *Streptomyces violaceusniger* strain G10 yang diisolasi dari akar mangrove memberikan efek antagonisme yang kuat terhadap beberapa penyakit yang diakibatkan oleh jamur (Thangavellu dan Mustafa, 2012).

*S. violaceusniger* pada kerapatan  $10^8$  cfu/ml yang diaplikasikan di lubang tanam dan akar planlet pisang Cavendish Novaria yang diinokulasi dengan spora Foc ras 4 pada tingkat kerapatan  $10^4$ /ml, menghasilkan penurunan keparahan gejala pada daun dan bonggol pisang yang signifikan dibandingkan dengan kontrol.

Antibiotik yang dihasilkan oleh *S. violaceusniger* mengakibatkan pembengkakan, distorsi, percabangan yang berlebihan dan lisis hifa Foc ras 4 dan menghambat germinasi sporanya. *S. griseorubiginosus* juga banyak ditemukan pada daun dan akar tanaman pisang yang sehat dan sakit dan menunjukkan efek antagonis terhadap Foc ras 4. Pada tahun 2005 ditemukan pula strain *Streptomyces* S96 yang diisolasi dari akar pisang yang menghasilkan siderofor yang mempunyai tingkat antagonis yang kuat terhadap Foc ras 4. (Thangavellu dan Mustafa, 2012).