

ARTHUR PINARIA, PhD

JAMUR FUSARIUM YANG BERASOSIASI DENGAN PENYAKIT BUSUK BATANG VANILI

ARTHUR PNARIA

**JAMUR FUSARIUM YANG BERASOSIASI DENGAN
PENYAKIT BUSUK BATANG VANILI DI INDONESIA**



**UNSRAT PRESS
2020**

**UNSRAT PRESS
2020**

**JAMUR FUSARIUM YANG BERASOSIASI
DENGAN PENYAKIT BUSUK BATANG
VANILI DI INDONESIA**

Arthur Pinaría Ph.D

**UNSRAT PRESS
2020**

**JAMUR FUSARIUM YANG BERASOSIASI DENGAN PENYAKIT BUSUK
BATANG VANILI DI INDONESIA**

Rancang Sampul : Art Division Unsrat Press
Judul Buku : **JAMUR FUSARIUM YANG BERASOSIASI DENGAN
PENYAKIT BUSUK BATANG VANILI DI INDONESIA**
Penulis : **Arthur Pinaría Ph.D**
Penerbit : **Unsrat Press**
Jl. Kampus Unsrat Bahu Manado 95115
Email : **percetakanunsrat@gmail.com**
ISBN : 978-623-7968-07-8

Cetakan Pertama 2020

Dilarang mengutip dan atau memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun baik cetak, fotoprint, mikrofilm dan sebagainya.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur patut penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, hanya oleh karena kasih dan kemurahanNya maka penulis boleh menyelesaikan buku „ **Jamur Fusarium Yang Berasosiasi Dengan Penyakit Bususk Batang Vanili di Indonesia**”

Penulisan buku ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan baik dosen maupun mahasiswa dalam mata kuliah Jamur Patogen Tanaman, dan Mikrobiologi di Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi.

Isi dari buku ini bagian dari hasil penelitian penulis pada program Doktor di The University of Sydney, Australia dan sudah dipublikasikan di Journal Australasian Plant Pathology pada tahun 2010.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan buku ini masih terdapat banyak kekurangan baik isi, maupun teknik penulisannya. Untuk itu sangat diharapkan kritik bahkan masukan demi perbaikan penulisan ini.

Akhirnya kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penulisan buku ini tiada kata yang pantas dapat disampaikan selain terima kasih sedalam-dalamnya atas segala bantuan yang telah diberikan. Kiranya Tuhan Yang Maha Kuasa yang adalah sumber berkat akan senantiasa memberkati kita sekalian.

Manado, Mei 2020
Penulis,

Arthur Pinaria Ph.D

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. TANAMAN VANILA.....	5
2.1. SEJARAH TANAMAN VANILA	5
2.2. TAKSONOMI VANILA.....	6
2.3. PERTUMBUHAN	10
2.4. PERBANYAKAN VANILA	10
2.5. PENANAMAN.....	11
2.6. PEMBUNGAAN DAN POLINASI.....	13
2.7. PANEN	14
2.8. PROSESING VANILA	15
2.9. DISTRIBUSI.....	15
2.10. PENGGUNAAN VANILA	16
2.11. HARGA DAN PRODUKSI	16
2.12. VANILA DI INDONESIA	17
2.13. HAMA DAN PENYAKIT PADA VANILA	18
2.14. PENYAKIT BUSUK BATANG VANILA	18
2.15. PENGELOLAAN PENYAKIT BUSUK BATANG VANILA	19
BAB 3. PENYEBAB PENYAKIT BUSUK BATANG VANILA.....	21
3.1. KARAKTER MORFOLOGI <i>Fusarium oxysporum</i>	22
3.2. INFEKSI, KOLONISASI DAN GEJALA	25

3.3. KONSEP FORMA SPESIALES.....	28
3.4. STUDI KERAGAMAN DAN FILOGENI F usarium oxysporum.....	29
BAB 4. FUSARIUM SPECIES YANG BERASOSIASI DENGAN PENYAKIT BUSUK BATANG VANILA di INDONESIA.....	35
4.1. Metode Pengambilan Sampel.....	37
4.2. ISOLASI DAN PEMURNIAN ISOLAT FUSARIUM	39
4.3. IDENTIFIKASI MORFOLOGI DAN MOLEKULER...	41
4.4. EKSTRAKSI DNA.....	42
4.5. PCR AMPLIFIKASI DAN SEKUENSING DNA.....	42
4.6. UJI PATOGENISITAS.....	44
4.7. PENGAMATAN DAN ANALISIS DATA.....	46
4.8. HASIL SURVEY	46
4.9. UJI PATOGENISITAS.....	49
4.10. HASIL DAN PEMBAHASAN	50
BAB 5. DESKRIPSI FUSARIUM SPECIES YANG BERASOSIASI DENGAN PENYAKIT BUSUK BATANG VANILA.....	57
5.1. <i>Fusarium solani</i>	57
5.2. <i>Fusarium semitectum</i> Berkeley & Ravenel.....	68
5.3. <i>Fusarium proliferatum</i> (Matsushima) Nirenberg	73
5.4. <i>Fusarium polyphialidicum</i>	80
5.5. <i>Fusarium oxysporum</i>	84
5.6. <i>Fusarium subglutinans</i>	102
5.7. <i>Fusarium pseudocircinatum</i>	107
5.8. <i>Fusarium decemcellulare</i> Brick	111
5.9. <i>Fusarium fujikuroi</i>	115

5.10. <i>Fusarium graminearum</i> Schwabe.....	120
5.11. <i>Fusarium mangiferae</i>	130
5.12. <i>Fusarium napiforme</i> Marasas, Nelson & Rabie.....	135
DAFTAR PUSTAKA.....	139

BAB 1.

PENDAHULUAN

Vanila planifolia adalah tanaman bernilai ekonomi tinggi (Elizabet 2002) karena menghasilkan vanillin yang dihasilkan melalui proses pengeringan polong vanila. Vanillin adalah komoditas paling berharga kedua di industri makanan dan minuman di seluruh dunia (Muheim dan Lerch, 1999; Westcott dkk, 1994). Vanila dibudidayakan di sejumlah negara termasuk Indonesia, yang merupakan penghasil vanila terbesar (Divakaran dkk. 2008).

Kendala utama yang dihadapi oleh negara-negara penghasil utama vanila untuk meningkatkan produksi vanila adalah penyakit yang dikenal sebagai busuk batang yang disebabkan oleh jamur *Fusarium oxysporum f.sp. vanilae* (Thomas dkk. 2002). Di Indonesia penyakit ini pertama kali dilaporkan di Jawa Tengah pada tahun 1960 (Soetono 1962) dan ketika diidentifikasi ternyata penyebab penyakit (patogen) adalah jamur *F. oxysporum f.sp. vanilae* (Tombe dkk. 1993). Penyakit ini bersifat tidak tergantung pada musim dan telah menyebar secara luas di seluruh area produksi vanila dengan daerah yang paling parah terkena adalah Jawa, Bali, Sumatera Utara dan Sulawesi Utara (Tombe dkk. 1992). Penyakit ini dilaporkan menyebabkan gagal panen yang substansial hingga mencapai 80% untuk petani (Lestari dkk. 2001).

Sebuah survei awal yang terkait dengan penyakit ini dilakukan di provinsi Sulawesi Utara pada tahun 2002 oleh tim peneliti yang merupakan kerjasama Sydney University Australia, Royal Botanical

Garden, Sydney, Australia dan Universitas Sam Ratulangi, yang didanai oleh Australian Center for International Agricultural Research (ACIAR). Pada tahun 2003 tim melaporkan bahwa sebagian besar jamur spesies *Fusarium* berhasil diisolasi dari sampel vanila yang memperlihatkan gejala penyakit busuk batang vanila.

Jamur spesies *Fusarium* adalah patogen tanaman yang secara ekonomis sangat penting. Banyak spesies *Fusarium* terdapat pada tanaman sebagai endophytic atau saprophytic. Sebagai patogen, spesies *Fusarium* menyebabkan berbagai macam penyakit pada tanaman pertanian, hortikultura dan kehutanan (Burgess dkk. 1994; Moore dkk. 2001; Ploetz 2001; Summerell dkk. 2003). Lebih dari 81 tanaman penting yang bernilai ekonomi dipengaruhi oleh setidaknya satu penyakit yang disebabkan oleh jamur *Fusarium* (Leslie dan Summerell, 2006). Jamur spesies *Fusarium* sering didapati sebagai endofit di banyak jenis tanaman pada ekosistem pertanian (Burgess dkk. 1981; Kuldau dan Yates 2000; Leslie dkk. 1990). Jamur spesies *Fusarium* menempati jaringan tanaman internal tanpa menyebabkan gejala, tetapi dapat menyebabkan gejala penyakit ketika tanaman mengalami kekeringan atau faktor lainnya (Burgess dkk. 1981). McDonald (1997) menyarankan bahwa manajemen penyakit harus melibatkan studi pada populasi patogen, bukan individu. Investigasi pada patogen busuk batang vanila di Indonesia terbatas. Sejauh ini, isolat *F. oxysporum f.sp. vanilae* di Indonesia telah dipelajari oleh Tombe dkk. (1994) menggunakan vegetative compatibility group (VCG). Namun, VCG sendiri bukan alat yang baik untuk menilai kesamaan dan diferensiasi populasi karena merupakan karakter

fenotipik menurut McDonald (1997). Alat lain yang digunakan untuk mempelajari *F. oxysporum* melalui DNA Fingerprinting. DNA Fingerprinting sekarang sangat berguna untuk studi tentang genetika populasi pada jamur spesies *Fusarium*.

Resistensi tanaman adalah strategi pengendalian yang paling efektif dalam mengendalikan penyakit yang disebabkan oleh jamur *F. oxysporum* (Fravel dkk. 2003). Namun, jamur patogen memiliki kemampuan untuk berevolusi agar dapat beradaptasi dengan lingkungan baru atau inang untuk bertahan hidup. Hal ini berpengaruh pada ketahanan gen resistensi yang dimiliki pada tanaman inang. Survei jamur spesies *Fusarium* terkait dengan busuk batang vanila selanjutnya diperluas ke enam provinsi lain, yang mewakili daerah produksi utama di Indonesia, antara April dan Juni 2006. Enam provinsi adalah Bali, Jawa Tengah, Jogjakarta, Lampung, Jawa Barat dan Nusa Tenggara Barat.

BAB 2.

TANAMAN VANILA

2.1. SEJARAH TANAMAN VANILA

Vanila, yang aslinya berasal dari Amerika Tengah (Weis 2002), adalah termasuk dalam jenis tanaman anggrek (Orchidaceae) (Kumar dkk. 1997). Sebelum tahun 1500 AD, suku Aztec di Meksiko menanam vanila dan menggunakannya untuk membumbui minuman mereka. "Tlilxochitl", yang berarti polong hitam, adalah kata Aztec diperuntukkan untuk vanila (Rao dan Ravishankar 2000). Vanila diperkenalkan ke Eropa sekitar tahun 1510 M oleh Dr. Fransisco Hernandez (Webster, 1995).

Upaya dilakukan untuk menumbuhkan tanaman vanila di Eropa sebelum 1733 (Purseglove dkk. 1981). Upaya ini gagal diakibatkan ada tanaman yang berbunga tetapi tidak berbuah karena tidak adanya penyerbuk alami. Pada tahun 1836, metode penyerbukan bunga vanila berhasil dikembangkan oleh Charles Morren, seorang ahli botani Belgia, di Liege (Weis 2002). Pada 1841, Edmond Albius, seorang budak muda berusia 12 tahun yang dipekerjakan di perkebunan vanila di pulau Reunion di Samudera Hindia, menemukan metode praktis dan sederhana untuk penyerbukan secara manual menggunakan tongkat bambu. Sejak itu, produksi komersial tanaman vanila menjadi mungkin dan metode Albius menjadi populer karena banyak digunakan untuk menghasilkan biji vanila (Rao dan Ravishankar 2000). Tanaman ini sekarang dibudidayakan di sejumlah negara tropis.

2.2. TAKSONOMI VANILA

Vanila termasuk dalam family Orchidaceae. Genus Vanila terdiri dari sekitar 110 spesies di seluruh daerah tropis dan subtropis (Besse dkk. 2004; Sun dkk. 2001). Namun demikian hanya tiga spesies yang dilaporkan penting dalam hal perdagangan dan budidaya yaitu *Vanila fragrans* (Salisbury) Ames, juga dikenal sebagai *V. planifolia* Andrews, *V. pompona* Schiede, dan *V. tahitensis* (Elizabeth 2002; Rao dan Ravishankar 2000). Di antara spesies vanila yang penting ini, hanya *V. planifolia* dan *V. tahitensis* yang merupakan sumber utama vanillin alami. Jenis *Vanila planifolia* sangat dihargai karena kualitas rasanya oleh karena itu spesies ini paling banyak dibudidayakan. Sekitar 95% dari vanila dibudidayakan di dunia adalah *V. planifolia* (Besse dkk. 2004; Grisoni dkk. 2004). Diduga bahwa *V. tahitensis* adalah hasil dari hibridisasi antara *V. pompona* dan *V. planifolia* karena kesamaan antara morfologi *V. tahitensis* dan *V. planifolia* (Besse dkk. 2004).



Gambar 1. Tanaman vanili

Vanila planifolia adalah tanaman tropis dengan daun sessile dan batang hijau yang segar, menghasilkan akar udara (Elizabeth 2002). Jumlah kromosom dasar dari genus ini adalah $x = 16$ (Weis 2002). *Vanila* umumnya tumbuh hingga ketinggian 10 sampai 15 m di alam liar tetapi ketika dibudidayakan dijaga lebih pendek untuk memudahkan perawatannya.

Daun *V. planifolia* adalah sukulen dan glabrous, sessile, lonjong-panjang hingga sempit dengan panjang 9-23 cm, lebar 2 hingga 8 cm (Gehrig dkk. 1998). Tangkai daunnya pendek dan tebal. Batang *V. planifolia* digambarkan sebagai bercabang, panjang, lentur, sukulen berwarna hijau, menghasilkan daun berlawanan dan mempunyai akar udara adventif (Correll 1953). Diameter batang vanila adalah berkisar 13-20 mm (Fouche dan Jouve 1999).

Vanila planifolia menghasilkan satu akar adventif yang berdiameter kira-kira 2 mm pada batang yang berlawanan dengan daun. Akar-akar ini melekat dengan kuat untuk mendukung pertumbuhan (Weis 2002). Ada dua bentuk akar adventif yaitu akar udara dan akar terestrial yang fungsinya berbeda berkaitan dengan anatomi dan morfologi (Alconero 1968). Panjang akar udara 0,05-15 cm dan memiliki rentang hidup pendek 1-2 tahun. Tucker (1927) menyatakan bahwa akar udara adalah akar yang pendek dan ramping dan timbul dari simpul-simpul pohon vanila. Namun, Alconero (1968) berpendapat bahwa akar udara dari vanila berfungsi sebagai organ air dan translokasi zat terlarut. Akar terestrial terbentuk di dasar pohon vanila (Fouche dan Jouve 1999) dan jatuh bebas ke tanah, bercabang atau

tetap di atas permukaan tanah (Alconero 1968). Peran akar terestrial adalah untuk menyerap nutrisi dan air dari dalam tanah.

Bunga vanila adalah sebuah raceme dengan 20 atau lebih bunga. Bunga vanila berkilin, harum dan berwarna pucat (Purseglove dkk. 1981) dan hermaphrodit (Rao dan Ravishankar 2000). Bunganya muncul dalam kelompok. Berbunga setelah 2-3 tahun ditanam dengan dengan tangkai bunga 4-5 cm, berwarna hijau ke kuning dan panjangnya sekitar 10 cm (Rao dan Ravishankar 2000). Satu sulur dapat menghasilkan hingga 400 bunga per tahun (Baruah dan Saikia 2002) dan umumnya hanya 1 hingga 3 bunga terbuka pada waktu yang sama (Weis 2002).

Ovarium berbentuk silinder, tricarpiary, sering melengkung dan inferior. Terdiri dari tiga sepal yang yang agak tumpul yang berbentuk lonjong ke lanceolate, dan berukuran 4-7 x 1-1,5 cm. Kelopak-kelopak yang ada di masing-masing bunga berbentuk lurus dengan panjang hingga lima cm. Benang sari dan putik berada di satu kolom yang panjangnya sekitar 3-5 cm dan melekat pada labellum (kelopak yang dimodifikasi). Terdapat dua serbuk sari dalam satu benang sari. The rostellum yang seperti lipatan tipis memisahkan stigma yang lengket dan cekung dari benang sari. Oleh karena itu, tidak mungkin untuk terjadi penyerbukan sendiri (Weis 2002).



Gambar 2. Bunga vanili



Gambar 3. Buah vanila

Buah, yang dikenal sebagai 'kacang' atau 'pod', sebenarnya adalah sebuah polong, hampir berbentuk silindris dan panjangnya sekitar 20 cm. Warna polong berubah dari hijau gelap ke hijau kuning pucat selama pematangan (Rao dan Ravishankar 2000). Saat matang, polong mengandung massa biji bulat, berwarna hitam, dan panjang (Weis 2002).

2.3. PERTUMBUHAN

Vanila biasanya tumbuh epifit pada pohon di hutan dataran rendah yang daerahnya tropis basah sampai ketinggian 600 m di atas permukaan laut (Purseglove dkk. 1981). Vanila tumbuh subur di iklim yang panas, lembab, dan memiliki suhu optimal sekitar 25-27 °C untuk tumbuh dengan baik (Weis 2002). Curah hujan berkisar 2000-2500 mm per tahun dengan dua bulan kering untuk pertumbuhan vegetatif dan pembungaan (Purseglove dkk.1981). Pohon pendukung yang paling umum digunakan untuk pertumbuhan vanila adalah *Gliricidia sp.* (Anilkumar 2004). Tanah yang paling cocok untuk vanila adalah tanah liat lempung gembur ditutupi dengan lapisan humus yang tebal atau mulsa di mana akar dapat berkembang biak (Weis 2002).

2.4. PERBANYAKAN VANILA

Secara umum vanila dapat diperbanyak menggunakan perbanyakan benih atau klonal. Perbanyakan melalui benih jarang terjadi karena biji vanila dapat tetap aktif selama beberapa tahun (Weis 2002). Karena memakan waktu, proses rumit dan tingkat keberhasilan

rendah maka perbanyakkan benih vanila biasanya tidak dianjurkan (Kononowicz dan Janick 1984). Dalam prakteknya, vanila di Indonesia disebarkan menggunakan stek tanaman. Stek panjang berkisar satu meter lebih disukai untuk ditanam karena stek yang lebih pendek dapat memakan waktu 3-4 tahun untuk berbunga dan berbuah (Anilkumar 2004). Untuk menghilangkan jamur patogen sebelum ditanam, bagian batang dicuci dan dicelupkan ke dalam larutan fungisida sebelum tanam (Elizabeth 2002). Perbanyakkan in vitro seperti kultur jaringan juga telah diperkenalkan untuk menghasilkan tanaman vanila yang bebas dari organisme patogen.

2.5. PENANAMAN

Pohon pendukung biasanya sudah tersedia sebelum tanaman vanila ditanam (Kumar dkk. 1997). *Glyricidia sepium* direkomendasikan secara luas sebagai standar untuk pendukung tanaman vanila (Anilkumar 2004; Alconero dkk. 1973) karena tidak tumbuh hingga ketinggian yang tinggi (Nauman 1991). Namun, di Indonesia, lamtoro (*Leucaena leucocephala*), adalah pohon pendukung paling umum digunakan sebagai tanaman pendukung vanila (Rismunandar dan Sukma 2003). Penentuan jarak dan baris di perkebunan vanila umumnya 2,5 - 2,0 m. Rata-rata 2000 stek dibudidayakan per hektar (Anilkumar 2004).

Lubang tanam diisi dengan humus dan kadang kadang digunakan mulsa yang diatur di atas permukaan tanah. Bagian batang yang telah mengalami defoliiasi diletakkan di permukaan tanah dan ditutup dengan lapisan tipis dari tanah bagian atas (Kumar dkk. 1997). Stek

secara lembut diikat ke batang pohon pendukung yang memungkinkan akar adventif untuk menempel pada pohon. Tanaman vanilla yang merambat harus perlakuan demikian agar bisa tumbuh secara vertikal pada ketinggian yang memungkinkan untuk menginduksi pembungaan dan menghasilkan polong (Irvine dan Delfel 1961).



Gambar 4. Bibit tanaman vanilla yang baru ditanam

Dalam kondisi yang baik, tanaman vanila dapat tumbuh hingga 100 cm per bulan (Purseglove dkk. 1981). Di Indonesia, tanaman vanila biasanya ditambatkan dengan hati-hati di sekitar cabang pohon pendukung yang lebih panjang sehingga menggantung. Pupuk organik dan anorganik digunakan setiap tahun ke tanaman vanila (Rismunandar dan Sukma 2003). Setelah tanaman vanila bertumbuh, kanopi naungan dan pohon pendukung dimonitor untuk menghindari naungan yang berlebihan atau sinar matahari berlebihan yang dapat menyebabkan berkurangnya buah dan hasil buah (Nauman 1991).

2.6. PEMBUNGAAN DAN POLINASI

Vanila biasanya mulai berbunga di tahun ketiga setelah tanam. Pembungaan maksimum terjadi dalam tujuh hingga delapan tahun sebelum secara bertahap menurun produktivitasnya. Setelah satu dekade tanaman vanila biasanya tidak menguntungkan dan harus digantikan (Weis 2002). Di Indonesia, periode pembungaan adalah antara Juni dan September (Fouche dan Jouve 1999). Bunga diserbuki dengan tangan karena tidak adanya penyerbuk alami (Shadakshari dkk. 1996). Kebanyakan penyerbukan dilakukan di pagi hari untuk memastikan pembuahan yang sukses (Weis 2002). Di Indonesia, penyerbukan menggunakan metode *Albius* dilakukan oleh petani atau orang yang terlatih. Pada tanaman vanila yang tumbuh dengan baik bisa dilakukan penyerbukan hingga sepuluh bunga (Weis 2002).



Gambar 5. Penyerbukan vanili menggunakan metode Albius

2.7. PANEN

Enam minggu setelah penyerbukan, polong mencapai panjang maksimum. Proses pematangan sekitar 9-12 bulan tergantung pada kondisi musiman dan tingkat naungan tetapi biasanya lamanya waktu pematangan polong konstan di daerah tertentu (Weis 2002). Polong dipanen ketika ujung menjadi kuning (Kumar dkk. 1997). Perkebunan yang dikelola dengan baik menghasilkan sekitar 500-800 kg polong per hektar per tahun (Purseglove dkk. 1981). Setelah panen, batang tua dan berpenyakit dihilangkan dengan memangkas untuk merangsang percabangan. Pohon penyangga tanaman vanila juga dipangkas untuk membatasi cahaya hingga 50% sinar matahari penuh (Weis 2002).

2.8. PROSESING VANILA

Setelah dipanen, polong vanila membutuhkan proses pengolahan untuk mendapatkan cita rasa yang mempunyai karakteristik dan senyawa aromatik. Ada lebih dari 180 senyawa yang telah diidentifikasi dalam polong vanila. Di antara 180 senyawa ini, vanillin adalah bahan yang paling banyak tersedia (Sun dkk. 2001). Vanillin adalah produk akhir dari reaksi enzimatik yang diinduksi secara alami yang melibatkan aksi glikosidase, esterase, protease dan lipase, dan enzim oksidatif seperti oksidase polifenol dan peroksidase (Dignum dkk. 2001).

Setiap negara yang membudidayakan vanila telah mengembangkan proses pengolahan masing-masing termasuk Indonesia. Proses pengolahan vanila di Indonesia berbeda dari satu provinsi ke provinsi lainnya (Rismunandar dan Sukma 2003). Namun, secara umum proses pengolahan polong vanila pada dasarnya sama, yang melibatkan empat langkah yaitu dipanasi, dijemur, dikeringkan dan pengkondisian setelah ketiga proses sebelumnya dilakukan (Dignum dkk. 2001).

2.9. DISTRIBUSI

Sejak produksi komersial vanila terjadi melalui penggunaan metode penyerbukan *Albius*, tanaman bernilai ekonomi tinggi ini telah menyebar dengan cepat ke seluruh dunia. Pada tahun 1890, vanila berhasil dibudidayakan di Indonesia, Tahiti, Madagaskar, Seychelles, Kepulauan Komoro, Mauritius, Reunion, Zanzibar, dan Jamaika (Rao dan Ravishankar 2000). *Vanila planifolia* dibudidayakan terutama di

daerah tropis karena beradaptasi dengan baik di daerah tropis yang lembab. Madagaskar, Komoro, Polinesia Prancis, serta Indonesia adalah negara penghasil dan pengekspor utama vanila. Sekitar 90 % produksi vanila berasal dari negara-negara ini (Rakotoarisoa dan Shapouri 2001)

2.10. PENGGUNAAN VANILA

Vanila yang menghasilkan vanillin esens aromatik adalah salah satu bahan perasa paling populer serta penting di dunia industri makanan dan parfum (Perez-Silva dkk. 2006). Vanillin digunakan sebagai penyedap makanan yang digunakan secara individual dalam masakan rumah tangga dan dalam barang-barang yang diproduksi secara industri seperti es krim (Menz dan Fleming 1989). Dalam industri farmasi, vanila digunakan untuk produksi agen-agen anti foaming atau obat-obatan seperti papaverine, L-dopa, L-methyldopa dan agen antimikroba, trimetoprim (Hocking 1997).

2.11. HARGA DAN PRODUKSI

Harga vanillin alami di pasar adalah 300 kali lebih tinggi dari esensi sintetis (Muheim dan Lerch 1999). Polong vanila dihargai antara US \$ 1200 dan US \$ 4000 per kg (Walton dkk. 2003) tergantung pada mutu. Diperkirakan bahwa produksi global vanila sekitar 4500 ton (Elizabeth 2002) dan permintaan global untuk vanillin alami meningkat sebesar 7 hingga 10% setiap tahun (Anilkumar 2004). Konsumsi tahunan di seluruh dunia diperkirakan lebih dari 2000 ton

(Podstolski dkk. 2002) sementara impor ke negara-negara konsumen bernilai sekitar US \$ 200 juta (Grisoni dkk. 2004).

Madagaskar, Indonesia, dan Kepulauan Pasifik Selatan mendominasi pasokan vanila di pasar dunia (Menz dan Fleming 1989) tetapi Indonesia dan Madagaskar adalah produsen utama (Roling dkk. 2001). Vanila diekspor ke Amerika Serikat, Jerman, Perancis, Kanada, Australia dan Jepang (Anilkumar 2004). Amerika Serikat dan negara-negara Eropa adalah konsumen terbesar yang secara tradisional mengimpor sekitar 850 ton per tahun. Amerika Serikat mengkonsumsi 50% sementara negara-negara Eropa mengkonsumsi 30% dari total impor vanila dunia (Rakotoarisoa dan Shapouri 2001). Di Amerika Serikat, buah vanila diproses secara komersial oleh beberapa perusahaan sebelum konsumsi akhir. Perancis dan Jerman yang merupakan negara-negara konsumen utama Eropa lebih memilih menggunakan polong vanila secara utuh (Menz dan Fleming 1989).

2.12. VANILA DI INDONESIA

Plasma nutfah vanila di Indonesia berasal dari luar Indonesia. Tanaman vanila di Indonesia secara genetik homogen karena tanaman diperbanyak secara klonal. Vanila pertama kali diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1819. Dua tanaman dikirim dari Antwerp ke Buitenzorg (sekarang Bogor), Jawa. Namun, hanya satu yang selamat dan berbunga pada tahun 1825 tetapi tidak menghasilkan buah. Pada tahun 1846, direktur Kebun Raya Buitenzorg (sekarang Bogor), Mr Teysmann, mulai menanam vanila (Purseglove dkk. 1981). Sejak itu,

produksi vanila telah menyebar ke seluruh negeri. Jawa Barat dan Tengah adalah daerah penghasil utama yang diikuti oleh Sumatera Selatan dan Sulawesi (Weis 2002). Saat ini, vanila dibudidayakan di lebih dari 20 provinsi termasuk Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Utara, Lampung dan Jawa Barat

Di Indonesia secara umum, vanila dibudidayakan oleh petani secara paruh waktu (Melo dkk. 2000). Hal ini disebabkan oleh jeda waktu beberapa tahun antara penanaman awal dan panen pertama sehingga petani tidak memilih tanaman vanila sebagai mata pencarian utama (Weis 2002).

2.13. HAMA DAN PENYAKIT PADA VANILA

Vanila di Indonesia dipengaruhi oleh berbagai hama dan penyakit yang membatasi produksi. Hama yang sering dilaporkan pada vanila di Indonesia adalah *Cretonotos*, *Holocloro sp.* dan *Achanita fulica* (Rismunandar dan Sukma 2003). Hama ini menyerang dedaunan dan batang pohon serta menghancurkan akar, sehingga mengganggu translokasi dan penyerapan nutrisi (Anandaraj dkk. 2001). Namun, kendala utama untuk produksi vanila di Indonesia adalah busuk batang yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f.sp. *vanilae* (Tombe dkk. 1993).

2.14. PENYAKIT BUSUK BATANG VANILA

Penyakit busuk batang vanila adalah penghalang utama dalam meningkatkan produksi vanila di negara-negara penghasil utama

(Thomas dkk. 2002). Di Indonesia penyakit ini pertama kali dilaporkan di Jawa Tengah pada tahun 1960 (Soetono 1962). Saat ini penyakit ini dilaporkan menyebabkan kerugian panen substansial hingga 80% untuk petani (Lestari dkk. 2001). Penyakit ini tidak musiman dan telah menyebar luas di seluruh area produksi vanila, daerah yang paling parah terkena adalah Jawa, Bali, Sumatera Utara dan Sulawesi Utara (Tombe dkk. 1992).

2.15. PENGELOLAAN PENYAKIT BUSUK BATANG VANILA

Keberlangsungan penyakit busuk batang vanila dipengaruhi oleh banyak faktor lingkungan, yang semuanya harus diperhitungkan dalam pelaksanaan program pengelolaan penyakit busuk batang vanila secara terpadu. Strategi pengendalian yang paling menjanjikan dalam mengendalikan penyakit yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* adalah penggunaan kultivar yang tahan (Belabid dkk. 2004; Di Pietro dkk. 2003; Fouche dan Jouve 1999; Fravel dkk. 2003; Hadrami dkk. 2005; Louvet dan Toutain 1981). Pemuliaan untuk ketahanan terhadap penyakit telah dicoba dengan menyilangkan *Vanila planifolia* yang komersial dengan spesies non-komersial yaitu *Vanila phaeantha*. Beberapa progeni yang dihasilkan dari persilangan ini ternyata resisten terhadap penyakit busuk batang vanila tetapi kualitas buahnya tidak baik. Progeni lainnya memiliki pertumbuhan yang tidak baik dan rentan terhadap penyakit (Theis and Jimenez 1957). Klon vanila yang tahan terhadap patogen juga dihasilkan di Indonesia menggunakan colchicine (Lestari dkk. 2001). Klon diuji dalam uji coba lapangan, dan empat klon terbukti resisten terhadap

patogen. Namun, ini perlu dievaluasi di bawah berbagai kondisi iklim. Pengendalian secara biologis adalah bidang lain dari manajemen penyakit busuk batang vanila yang telah diteliti secara terus menerus. Tombe dkk. (1997) menggunakan *Fusarium oxysporum* non-patogen dan *Pseudomonas fluorescens* sebagai agen antagonis dan mereka menemukan bahwa agen antagonis ini bisa menekan aktivitas *F. oxysporum f.sp. vanilae*.

Fungisida juga telah digunakan untuk mengendalikan akar batang dan akar vanila (Fouche dan Jouve 1999). Tombe dan Sitepu (1986) melaporkan bahwa kombinasi phytosanitation dan penyemprotan dan penggunaan 0,25% Bavistin 50 WP (Carbendazim) pada interval 15 hingga 20 hari efektif dalam mengurangi penyakit busuk batang vanila. Metode pengendalian lainnya yang digunakan seperti penerapan mulsa dan menghilangkan seluruh bagian batang yang terinfeksi dan berhasil untuk menekan pathogen busuk batang vanila. Selain itu, penggunaan daun cengkeh *Eugenia aromatica* sebagai mulsa di Indonesia telah diperkenalkan untuk mengendalikan penyakit. Tombe dkk. (1992) menunjukkan bahwa penambahan daun cengkeh menekan aktivitas *F. oxysporum f.sp. vanilae*. Dimusnahkannya jaringan tanaman vanila yang terinfeksi mengurangi potensi sumber inokulum patogen.

BAB 3.

PENYEBAB PENYAKIT BUSUK BATANG VANILA

Fusarium oxysporum adalah spesies jamur kosmopolitan. Dalam hal patogenisitas terhadap inang, jamur ini adalah anggota paling penting dari genus *Fusarium* (Booth 1975). Sampai saat ini tahapan seksual dari jamur patogen tidak diketahui (Messiaen dan Cassini 1981). Jamur ini telah diterima secara luas sebagai spesies dan telah dipelajari secara ekstensif selama lebih dari 100 tahun. *Fusarium oxysporum* mewakili beberapa mikroba yang paling banyak dan melimpah serta tersebar pada mikroflora tanah (Kistler 2001). Kisaran inang *F. oxysporum* sangat luas, termasuk hewan, arthropoda, manusia dan tumbuhan (Nelson dkk. 1994; O'Donnell dkk. 2004).

Fusarium oxysporum mencakup lebih dari 100 formae khusus yang diketahui menyebabkan penyakit pada inang yang berbeda (Baayen dkk. 2000). Patogen *Fusarium oxysporum* merusak dan menjadi penyebab penyakit layu lebih dari 100 tanaman inang yang bernilai ekonomi penting. Contohnya termasuk penyakit pada pisang yang disebabkan oleh *F. oxysporum f.sp. cubense* dan layu pada tanaman kapas yang disebabkan oleh *F. oxysporum f.sp. vasinfectum* (Mooere dkk. 2001; Wang dkk. 2004). Penyakit layu vaskular yang disebabkan oleh berbagai bentuk spesialisasi *F. oxysporum* bertanggung jawab atas kehilangan hasil panen yang substansial di Australia, Eropa, Amerika Serikat, Asia, Afrika, dan Amerika Selatan (Belabid dkk. 2004; Davis dkk. 1996; Ploetz 2001; Summerell dkk. 2001).

Fusarium oxysporum juga digunakan dalam pengendalian biologis bagi larva nyamuk (Hasan dan Vago 1972). Selain itu, ada beberapa bukti bahwa strain *F. oxysporum* non-patogen kemungkinan berguna dalam mengendalikan *F. oxysporum* patogen (Fravel dkk. 2003). Sebagai contoh, *F. oxysporum* non-patogenik dilaporkan digunakan untuk mengendalikan layu *Fusarium* pada semangka (Larkin dkk. 1996). Dilaporkan *F. oxysporum* non-patogen efektif terhadap pengendalian tiga ras strain patogen yang menyebabkan layu pada tanaman tomat (Larkin dan Fravel 1998; Larkin dan Fravel 2002). *Fusarium oxysporum* endofitik telah dilaporkan dapat menekan reproduksi *R. similis* dalam akar tanaman inang (Athman dkk. 2007). Selain itu, *F. oxysporum* dapat menyebabkan fungaemia pada pasien kanker yang bisa menyebabkan kematian (Krcmery Jr dkk. 1997). Karena pentingnya jamur *F. oxysporum* ini maka penelitian lebih mendalam tentang jamur ini dilakukan secara ekstensif (Booth 1984).

3.1. KARAKTER MORFOLOGI *Fusarium oxysporum*

Fusarium oxysporum menghasilkan berbagai jenis spora, yaitu makrokonidia, mikrokonidia, dan klamidospora (Burgess dkk. 1994). Baik makrokonidia dan mikrokonidia adalah spora aseksual yang bertindak sebagai inokulum sekunder yang bisa menginfeksi tanaman. Klamidospora berguna bagi kelangsungan hidup jangka panjang dari organisme ini (Muller-Stover dkk. 2002; Schippers dan Van Eck 1981). Mikrokonidia berbentuk “false head” dengan monophialides yang pendek pada hifa dan biasanya mikrokonidia tidak bersepta.

Mikrokonidia bisa berbentuk oval, elips atau berbentuk seperti ginjal (Burgess dkk. 1994; Ohara dan Tsuge 2004).



Gambar 6. Mikrokonidia *F. oxysporum f.sp. vanilae*

Makrokonidia berbentuk falcate hampir lurus dan berwarna oranye pucat, sporodokia biasanya berlimpah, berdinding tipis dan biasanya mempunyai 3-4 septa. Ukuran makrokonidia mulai pendek hingga sedang. Makrokonidia terbentuk paling sering dari monophialides yang timbul dari conidiophores dan sangat kurang terbentuk dari monophialides yang timbul dari hifa. Sel basal berbentuk kaki dan sel apikal yang pendek bisa ditemui pada beberapa isolat (Burgess dkk. 1994; Ohara dan Tsuge 2004).



Gambar 7. Makrokonidia *F. oxysporum f.sp. vanilae*

Klamidospora terbentuk dari modifikasi sel-sel hifa dan konidia melalui proses kondensasi (Ohara dan Tsuge 2004). Pembentukan klamidospora bervariasi dalam kultur steril dan mungkin tidak identik dengan yang terbentuk di tanah (Burgess dkk. 1994; Schippers dan Van Eck 1981).



Gambar 8. Klamidospora *F. oxysporum f.sp. vanilae*

Fusarium oxysporum mirip dengan *Fusarium solani* dan *Fusarium subglutinans*. Namun, ada ciri-ciri kunci untuk membedakan di antara mereka. False head *F. solani* memiliki monofialida yang sangat panjang terbentuk pada hifa sementara monofialida *F. oxysporum* pendek. *Fusarium subglutinans* dibedakan dari *F. oxysporum* oleh pembentukan mikrokonidia dari polyphialides dan tidak adanya klamidospora. Namun, dalam beberapa isolat *F. subglutinans*, sulit untuk ditemukan mikrokonidia dari polyphialides (Burgess dkk. 1994).

3.2. INFEKSI, KOLONISASI DAN GEJALA

Fusarium oxysporum mampu bertahan hidup lebih lama di tanah (Vakalounakis dan Chalkias 2004), karena produksi struktur yang dikenal sebagai klamidospora. Setelah tanah diinvestasi oleh *Fusarium oxysporum*, kelangsungan hidup jangka panjang dari pathogen didukung keberadaan klamidospora. Karena klamidospora adalah struktur bertahan hidup dari pathogen. Pada tahap awal infeksi, *F. oxysporum* f.sp. *vanilae* berasosiasi dengan *Rhizoctonia solani* (Alconero dan Santiago 1969). Hubungan dengan *Rhizoctonia solani* ini menarik tetapi tidak ada informasi yang mendukung mengenai asosiasi ini. Oleh karena itu harus diselidiki lebih lanjut. Alconero (1968a) melaporkan bahwa patogen dapat menginfeksi jaringan akar yang belum matang. Namun, akar yang terluka karena kerusakan mekanis adalah tempat paling umum untuk dijadikan sebagai titik masuk oleh pathogen untuk melakukan infeksi. Selain itu batang yang rusak juga merupakan salah satu wadah yang digunakan oleh pathogen untuk melakukan infeksi.

Proses infeksi oleh *F. oxysporum* dibagi menjadi tiga tahap, yaitu prainfeksi, penetrasi, dan mematahkan proses ketahanan tanaman (Recorbet dkk. 2003). Tahap prainfeksi dirangsang oleh perkecambahan klamidospora diikuti oleh banyak hifa yang tumbuh terutama di zona akar rambut (Di Pietro dkk. 2003). Selanjutnya, permukaan akar di invasi secara intensif dan proses pembentukan hifa berlanjut di seluruh permukaan akar dan juga akar sekunder. Proses kolonisasi akar oleh patogen terjadi sangat cepat (Olivain dan Alabouvette 1997).

Pada tahap penetrasi, tidak ada struktur penetrasi khusus. Namun demikian, hifa melakukan penetrasi awal dimana dinding hifa menyempit dan membentuk titik penetrasi (Olivain dan Alabouvette 1999). Setelah sepenuhnya permukaan akar di kolonisasi, hifa menghasilkan cabang yang segera menembus akar melalui korteks dan mencapai pembuluh xilem yang akhirnya oleh patogen digunakan sebagai jalan untuk menguasai inang (Di Pietro dkk. 2003).

Untuk mengatasi pertahanan tanaman, *F. oxysporum* menghasilkan enzim pengurai dinding sel (CWDEs), yang merupakan polygalacturonase (PG), untuk mendegradasi pektin yang merupakan polisakarida kompleks yang ditemukan di lamella tengah dan dinding sel primer dari tanaman. Berbagai macam CWDE ekstraseluler, termasuk endopolygalacturonases, exo-polygalacturonases, pectate lyases, xylanases, celulases serta protease diproduksi oleh jamur untuk mengatasi hambatan struktural yang dibentuk oleh dinding sel tanaman (Garcia-Maceira dkk. 2001).

Setelah *F. oxysporum f.sp. vanilae* berhasil menguasai jaringan induk, gejala-gejala layu terlihat. Gejala layu pada bibit di persemaian dan tanaman di lapangan dan ditandai dengan kekuningan bertahap, pelayuan dan pengeringan batang adalah gejala utama penyakit yang disebabkan oleh *F. oxysporum* (Philip 1980). Alconero dan Santiago (1969) menyatakan bahwa batang yang layu bukan disebabkan oleh patogen yang berasal dari akar yang terinfeksi kemudian masuk ke dalam jaringan induk tetapi karena kerusakan sistem perakaran dan bukan karena invasi ke jaringan vaskular tanaman. Namun, Philip (1980), Thomas dkk. (2002), dan Tombe dkk. (1993) menemukan

bahwa patogen mengkolonisasi sistem vascular tanaman. Dimana jamur *Fusarium* masuk dan fenetrasi ke akar dan batang melalui luka pada tanaman dan kemudian mengkolonisasi sistem vaskular. Kolonisasi sistem vaskular mengganggu translokasi air dan nutrisi dari bawah ke atas didalam tanaman, yang memperlihatkan gejala karakteristik layu, pada akhirnya mengakibatkan kematian tanaman (Thomas dkk. 2002).

Penyakit busuk batang vanila terlihat pada pembusukan bagian bawah batang yang merupakan batas antara bagian atas dan bawah tanaman, pada akhirnya mempengaruhi bagian bawah dari batang yang terhubung ke tanah (Philip 1980; Thomas dkk. 2002). Philip (1980) memeriksa bagian akar dan pangkal batang dan menemukan bahwa terdapat jaringan menghitam terutama pada tahap awal. Gejala mulai berkembang di batang seperti terjadinya perubahan menjadi warna kuning. Warna kecoklatan akan kelihatan pada jaringan vaskular ketika diamati melalui potongan bagian batang tanaman yang memperlihatkan gejala. Selanjutnya, bercak kecoklatan memanjang dan berkembang pada akhirnya ke pembusukan jaringan tanaman. Daun berubah menjadi kuning dan batang yang terinfeksi akhirnya mengerut ketika tanaman benar-benar layu dan kering, karena tidak terhubung ke tanah (Thomas dkk. 2002).



Gambar 9. Batang vanili yang sudah diinfeksi oleh jamur *F. oxysporum f.sp. vanilae*.

3.3. KONSEP FORMA SPESIALES

Konsep *Formae speciales* (f.sp.) di jamur *F. oxysporum* diadopsi sebagai metode mengidentifikasi strain patogen *F. oxysporum* yang menyebabkan penyakit layu vaskular pada tanaman inang tertentu (Amstrong dan Amstrong 1981). Isolat patogenik *F. oxysporum* dibedakan satu sama lain menggunakan *Formae speciales*. Hawksworth dkk. (1995) mendefinisikan *Formae speciales* sebagai peringkat informal dalam klasifikasi karena tidak diatur oleh kode dan digunakan untuk parasit jamur yang dicirikan dari aspek

fisiologis seperti kemampuan untuk menyebabkan penyakit pada inang tertentu tetapi hampir tidak ada sama sekali dari titik morfologi. Beberapa *Formae speciales* selanjutnya dibagi menjadi ras, atas dasar virulensi pada kultivar yang berbeda dalam spesies tanaman yang sama (Amstrong dan Amstrong 1981). Misalnya, *F. oxysporum f.sp. lycopersici* telah dibagi menjadi tiga ras karena patogenisitasnya yang berbeda terhadap kultivar tomat yang mengandung ras, gen resistensi dominan (Mes dkk. 1999) dan *F. oxysporum f.sp. kubense* telah dibagi menjadi empat ras fisiologis berdasarkan patogenitas terhadap kultivar pisang di lapangan (Bentley dkk. 1998).

3.4. STUDI KERAGAMAN DAN FILOGENI *Fusarium oxysporum*

Studi keragaman genetik *F. oxysporum* menggunakan penanda molekuler (DNA) telah menjadi populer dalam beberapa tahun terakhir. Sejumlah teknik penanda molekuler yang digunakan adalah amplified fragment length polymorphism (AFLP), repetitive sequence-based polymerase chain reaction (rep-PCR), simple sequence repeats or microsatellites (SSRs), random amplified polymorphic DNA (RAPD), dan restriction fragment length polymorphisms (RFLP) telah banyak digunakan untuk mempelajari patogen *F. oxysporum*.

Penanda AFLP, teknik fingerprinting multi lokus berbasis PCR, telah digunakan untuk menganalisis keragaman genetik, populasi dan evolusi *F. oxysporum*. Teknik ini didasarkan pada amplifikasi PCR selektif fragmen restriksi dari total DNA (Vos dkk. 1995).

Keuntungan AFLP adalah penanda netral, cepat dan efisien, serta reproduktif dan mempunyai tingkat keandalan yang tinggi (Majer dkk.1996). Oleh karena itu, AFLP adalah penanda molekuler yang sangat baik untuk mempelajari hubungan antara isolat jamur pada populasi dan tingkat spesies (Baayen dkk. 2000; Summerell dkk. 2003).

Abdel-Satar dkk. (2003) melaporkan bahwa metode AFLP menghasilkan tingkat diskriminasi yang tinggi dan identifikasi lima *Fusarium spp.*, termasuk *F. oxysporum*. Metode ini mampu membedakan hubungan genetik intra-spesifik antara *F. oxysporum f.sp. vasinfectum* (Abd-Elsalam dkk. 2002) dan mengklasifikasikan subpopulasi *F. oxysporum f.sp. lentis* (Belabid dkk. 2004). Ini efektif digunakan untuk membedakan isolat *F. oxysporum f.sp. melonis* dan *F. oxysporum f.sp. radialis-cucumerinum* dari melon (Vakalounakis dkk. 2005). Filogeni berbasis AFLP, dalam hubungannya dengan genealogi multi-gen berhasil digunakan untuk menguji hubungan filogenetik antara 89 isolat *F. oxysporum* dalam 8 *Formae speciales* yang terkait dengan penyakit layu dan akar membusuk (Baayen dkk. 2000).

Reaksi berantai polimerase berulang (rep-PCR) didasarkan pada primer tertentu yang telah digunakan untuk mempelajari keragaman dalam *F. oxysporum* strain. Ini digunakan untuk membandingkan keterkaitan relatif dari isolat (Smith-White dkk. 2001).

Penanda molekuler lain yang telah berhasil digunakan untuk menganalisis hubungan antara isolat *F. oxysporum* adalah mikrosatelit (SSR) (Bogale dkk.2005). Pengulangan urutan sederhana

dikembangkan dari microsatelites yang diamplifikasi secara acak (RAMS). RAMS baru-baru ini dikembangkan untuk melihat variasi genetik pada jamur dan dianggap sebagai metode baru untuk mengukur keragaman genetik pada tumbuhan, hewan dan jamur. Teknik ini menggabungkan sebagian besar manfaat dari microsatelit dan penanda RAPD. Penggunaan mikrosatelit paling efisien dan akurat untuk studi intraspecies karena tingginya tingkat mutasi dan variasinya. Selain itu, teknik RAMS dapat digunakan secara efektif untuk ukuran sampel penelitian populasi yang besar karena tidak memerlukan perkiraan jumlah DNA yang akurat (Hantula dkk. 1996). Penanda molekuler lain seperti RFLP dan RAPD juga telah digunakan untuk mengkarakterisasi keragaman *F. oxysporum* (Alves- Santos dkk. 1999; Belabid dkk. 2004; Cai dkk. 2003. Edel dkk. 1995; Edel dkk. 1997; Edel dkk. 2001; Jana dkk. 2003; Jimenez-Gasco dkk. 2001; Jimenez-Gasco dan Jimenez Diaz 2003; Kelly dkk. 1994; Llorens dkk. 2006; Nelson dkk. 1997; O'Donnell dkk. 1999; Plyler dkk. 2000; Vakalounakis dan Fragkiadakis 1999; Wang dkk. 2001; Zamani dkk. 2004).

Studi menggunakan penanda molekuler menunjukkan bahwa ada perbedaan pola keragaman yang ditunjukkan dalam berbagai *Formae speciales* dari *F. oxysporum*. Beberapa *Formae speciales* memiliki pola keragaman sederhana dengan struktur populasi klon monofiletik, seperti *F. oxysporum f.sp. albedinis*, *F. oxysporum f.sp. conglutinans*, *F. oxysporum f.sp. canariensis*. Yang lain memiliki pola keragaman yang juga konsisten dengan klonalitas, tetapi dicirikan oleh dua atau lebih garis keturunan yang berbeda dalam suatu *Formae speciales*,

seperti *F. oxysporum f.sp. cubense*, *F. oxysporum f.sp. melonis*, *F. oxysporum f.sp. lycoersici* (Kistler 2001).

Sebuah penanda non-molekuler, vegetatif compatibility groups (VCGs) telah digunakan secara luas untuk menilai keragaman *F. oxysporum* selama beberapa dekade. Studi tentang VCG diprakarsai oleh Puhalla (1984). Dia mengamati pertumbuhan heterokaryon auxotrophic mutan dari *F. oxysporum f. sp. apii*. Hasil penelitiannya memunculkan hipotesis bahwa *Formae speciales* adalah kelompok yang heterogen dari isolate-isolat yang berbeda secara genetis. Menurut (Klein dan Correll 2001), VCG adalah alat yang berguna untuk mempelajari keragaman dalam *Formae speciales*. VCG dicirikan oleh strain-strain yang mampu berfusi satu sama lain dan membentuk heterokarion dan isolate-isolat ini mempunyai mempunyai alel yang identik pada setiap lokus (Kistler dan Benny 1989; Leslie dan Zeller 1996). Keuntungan dari analisis VCG adalah bisa mempelajari strategi reproduksi dari jamur tersebut (Kistler 1997). Namun, kelemahan VCG adalah bahwa hal itu tidak bisa untuk mengukur kesamaan populasi dan diferensiasi, dan beberapa isolat tidak akan membentuk nitrogen nit-mutan (Leslie 1993; McDonald 1997). Selain itu, VCG tidak menunjukkan keterkaitan genetik diantara VCGs yang berbeda serta keterkaitan isolat dalam satu kelompok VCG (Bentley dkk, 1998).

Lebih dari 100 *Formae specialis* dimasukkan dalam kompleks *F. oxysporum* (Leslie dan Summerell 2006). Masing-masing terdiri dari satu atau lebih kelompok (VCGs) (Baayen dkk, 2000). Beberapa *Formae speciales* mempunyai VCG tunggal seperti *F. oxysporum*

f.sp. albedinis (Fernandez dkk. 1997) dan *F. oxysporum f.sp. ciceris* (Katan 1999). Di sisi lain, banyak yang terdiri dari lebih dari satu kelompok VCGs seperti *F. oxysporum f.sp. cubense* (Bentley dkk., 1998; Koenig dkk., 1997) dan *F. oxysporum f.sp. vanillae* (Tombe dkk. 1994).

Pendekatan filogenetik untuk mempelajari keragaman telah digunakan untuk menganalisis garis keturunan dan tetua dari patogen

F. oxysporum (Gordon dan Martyn 1997). Ada beberapa gen yang telah digunakan untuk studi filogenetik dari patogen. Di antaranya β -tubulin, histone H3, translation elongation factor 1- α (EF-1 α), mitochondrial small subunit (mtSSU) ribosomal RNA, calmodulin, the internal transcribed spacer region of rDNA (rDNA ITS1 and ITS2) (Abd- Elsalam dkk. 2003; Baayen dkk, 2000; Guadet dkk. 1989; Hua-Van dkk. 2001; O'Donnell dan Cigelnik 1997; O'Donnell dkk. 1998a; O'Donnell dkk. 1999; Skovgaard dkk. 2001).

O'Donnell dan Cigelnik (1997) melaporkan bahwa *F. oxysporum* terdiri dari setidaknya lima spesies filogenetik yang berbeda. Selain itu, *F. oxysporum* kompleks berhubungan erat dengan kompleks spesies *Gibberella fujikuroi* (O'Donnell dkk. 1998). Beberapa *Formae speciales* memiliki garis keturunan monofiletik seperti *F. oxysporum f.sp. ciceris* (Jimenez Gasco dkk. 2002). Di sisi lain, beberapa *Formae speciales* memiliki asal evolusi polyphyletic seperti

F. oxysporum f.sp. cubense (O'Donnell dkk. 1998a), *F. oxysporum f.sp. vanillae* (Pinaria dkk. 2015) dan *F. oxysporum f.sp. vasinfectum* (Skovgaard dkk. 2001).

BAB 4.

FUSARIUM SPECIES YANG BERASOSIASI DENGAN PENYAKIT BUSUK BATANG VANILA di INDONESIA

Vanila planifolia adalah tanaman bernilai ekonomi tinggi (Elizabeth 2002). Vanila dibudidayakan untuk memproduksi vanillin yaitu produk penyedap yang paling berharga dalam industri makanan dan minuman di seluruh dunia (Muheim dan Lerch 1999; Westcott dkk, 1994). Tanaman ini dibudidayakan di sejumlah negara termasuk Indonesia, yang merupakan produsen utama (Divakaran dkk. 2008).

Kendala utama untuk meningkatkan produksi vanila di Indonesia adalah penyakit yang dikenal sebagai busuk batang vanila. Penyakit ini disebabkan oleh *Fusarium oxysporum f.sp. vanilae* (Thomas dkk. 2002; Tombe dkk.1997).

Di Indonesia, penyakit busuk batang vanila pertama kali dilaporkan di Jawa Tengah pada tahun 1960 dan patogen diidentifikasi adalah *F. oxysporum f.sp. vanilae* (Tombe dkk. 1993). Penyakit ini telah dilaporkan menyebabkan kerugian panen yang substansial bagi petani hingga mencapai 80% (Lestari dkk. 2001). Penyakit ini tidak musiman dan telah menyebar luas di seluruh area produksi vanila dan yang kerugian paling serius terjadi di Jawa, Bali, Sumatera Utara dan Sulawesi Utara (Pinaria dkk. 2010;Tombe dkk. 1992).

Dalam survei awal terkait jamur yang berasosiasi dengan busuk batang vanila yang dilakukan di Sulawesi Utara pada tahun 2002, ditemukan bahwa spesies *Fusarium*, termasuk *F. oxysporum f.sp. vanilae*, adalah spesies dominan yang diisolasi dari batang yang

memperlihatkan gejala penyakit (Liew dkk, 2004). Namun, peran spesies *Fusarium* terkait dengan busuk batang vanila selain *F. oxysporum f.sp. vanilae* belum diselidiki.

Jamur spesies *Fusarium* adalah patogen tanaman yang secara ekonomis sangat penting. Banyak dari spesies ini juga ditemukan sebagai endophytic atau saprophytic pada tanaman. Sebagai patogen, spesies *Fusarium* menyebabkan berbagai macam penyakit pada tanaman pertanian, hortikultura dan hutan (Burgess dkk. 1994; Moore dkk. 2001; Ploetz 2001; Summerell dkk. 2003). Lebih dari 81 tanaman yang penting secara ekonomi dipengaruhi oleh setidaknya satu penyakit yang disebabkan oleh *Fusarium* (Leslie dan Summerell 2006). Spesies *Fusarium*, juga ditemukan sebagai endofit di banyak tanaman di ekosistem pertanian (Burgess dkk. 1981; Kulda dan Yates 2000; Leslie dkk. 1990). Spesies *Fusarium* menempati jaringan tanaman internal tanpa menyebabkan gejala, tetapi dapat menyebabkan gejala penyakit ketika tanaman mengalami kekeringan atau faktor stres lainnya (Burgess dkk. 1981).

Survei awal spesies *Fusarium* yang terkait dengan penyakit busuk batang vanila di Sulawesi Utara kemudian diperluas ke enam provinsi penghasil vanila lainnya untuk mendapatkan pemahaman yang lebih luas tentang peran spesies *Fusarium* yang terkait dengan busuk batang vanila di Indonesia. Isolat-isolat spesies *Fusarium* yang teridentifikasi dari hasil survey kemudian diuji patogenitas

4.1. Metode Pengambilan Sampel

Tujuh provinsi, mewakili daerah penghasil vanila utama, yaitu Bali, Jawa Tengah, Jogjakarta, Lampung, Sulawesi Utara, Jawa Barat dan Nusa Tenggara Barat disurvei. Sampel dari Sulawesi Utara dikumpulkan pada tahun 2002, sedangkan sampel dari provinsi lain dikumpulkan pada tahun 2006. Sampel dikumpulkan dari satu hingga tiga wilayah per provinsi dan satu hingga tiga lokasi per wilayah (Tabel).

Jumlah sampel penyakit yang diambil di setiap lokasi berdasarkan dari batang yang menunjukkan gejala karakteristik, yaitu perubahan warna dan pembusukan jaringan induk (Gambar 10). Sampel batang yang diambil berukuran 100-150 mm termasuk margin diantara jaringan nekrotik dan sehat.



Gambar 10. Contoh sampel busuk batang vanila yang diambil .

Table.1. Lokasi sampel

Propinsi	Kabupaten	Lokasi sampel	GPS coordinates
West Java	Sukabumi	Cikembar	S: 06°56.613" E:106°46.363"
	Sumedang	Tanjungkerta	S: 06° 45.671" E:107°52.482"
		Cimanggu	S: 06° 34.650" E:106°47.267"
		Pasirgaok	S: 06° 32.429" E:106°43.336"
Central Java Jogjakarta	Temanggung	Disbun	Not available
	Kulonprogo	Samigalo	Not available
		Nangwulan	Not available
Bali	Jembrana	Pekutatan 1	S: 08° 24.674" E:114°49.768"
		Pekutatan 2	S: 08° 25.512" E:114°50.515"
	Tabanan	Selemadeg Barat	S: 08° 29.143" E:114°59.227"
West Nusatenggara	Lombok barat	Gangga Seelos	S: 08° 24.121" E:116°14.355"
		Gangga Bentek	S: 08° 24.120" E:116°14.165"
	Mataram	Lingsar batukumbung	S: 08° 34.172" E:116°11.960"
		Lingsar batumekar	S: 08° 23.295" E:116°12.242"
Lampung	Lampung Selatan	Natar	S: 05° 18.978" E:105°10.503"
		Tanggamus	Gisting
	Lampung Timur	Bandar Sribhawono 1	S: 05° 17.016" E:105°40.670"
		Bandar Sribhawono 2	S: 05° 17.328" E:105°39.833"
North Sulawesi	Manado	Mapanget	S: 01° 30.929" E:124°55.403"

Minahasa	Warembungan	S:01° 25.091'' E:124°48.656''
Minahasa selatan	Pondos-wakan	S: 01° 06.815'' E:124°30.845''
	Langsot	S: 01° 13.102'' E:124°44.503''
	Rasi	S: 01° 02.844'' E:124°46.776''

4.2. ISOLASI DAN PEMURNIAN ISOLAT FUSARIUM

Sampel batang dibilas dalam air bersih. Setelah itu permukaan batang sampel disterilkan dengan cara mencelupkan sampel batang tersebut dengan etanol 70% kemudian dibakar sekitar 5 detik dengan api. Selanjutnya diambil dua potongan batang kecil (kira-kira tebal 5 mm) dari tepi jaringan nekrotik dan sehat dari sampel batang tersebut. Kemudian kedua potongan batang kecil tersebut diletakkan pada cawan petri yang berisi media selektif *Fusarium* yaitu Peptone Pentachloronitrobenzene Agar, (PPA) (Burgess dkk. 1994).



Gambar 11. Potongan sampel busuk batang vanili yang akan diisolasi



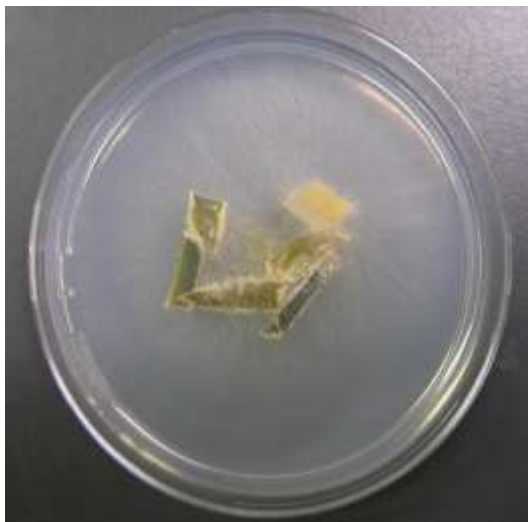
Gambar 12. Isolasi patogen

Media PPA diinkubasi selama 5-7 hari dan ditumbuhkan di bawah kondisi yang dijelaskan oleh Burgess dkk. (1994). Filamen jamur yang tumbuh dari potongan-potongan jaringan selanjutnya disubkultur ke media Carnation Leaf-piece Agar (CLA) untuk diidentifikasi.



Gambar 13. Filamen jamur yang tumbuh dari potongan jaringan yang diisolasi

Cawan petri yang mengandung media CLA diinkubasi cahaya / gelap bergantian selama 7 hari seperti yang dijelaskan oleh Burgess dkk. (1994). Setelah diinkubasi dilakukan proses identifikasi morfologi menggunakan media CLA dan Potato Dextrose Agar (PDA). Isolat *Fusarium* yang teridentifikasi selanjutnya dimurnikan dengan melakukan proses spora tunggal (Burgess dkk. 1994)



Gambar 14. Filamen jamur yang berkembang di media CLA

4.3. IDENTIFIKASI MORFOLOGI DAN MOLEKULER

Kultur murni *Fusarium* pada media CLA dan PDA diidentifikasi ke tingkat spesies berdasarkan kriteria morfologi yang dianjurkan oleh Burgess dkk. (1994) dan Leslie dan Summerell (2006). Pada saat identifikasi spesies *Fusarium* ditemukan spesies yang secara morfologis kurang jelas selanjutnya diidentifikasi berdasarkan sekuensing DNA menggunakan gen (EF-1 α) menggunakan database GenBank.



Gambar 15. Karakter *Fusarium oxysporum*f.sp *vanilae* pada media PDA

4.4. EKSTRAKSI DNA

Isolat dikultur pada cawan petri yang mengandung media PDA selama 10-14 hari untuk memungkinkan miselia tumbuh dan berkembang serta menutupi permukaan media. Miselia kemudian dipanen dan ditempatkan dalam tabung Eppendorf 1,5ml yang steril. Selanjutnya DNA diekstraksi menggunakan FastDNA[®] Kit (Qbiogene, Inc., A.S.) sesuai dengan instruksi pabrikan. Konsentrasi DNA genom diperkirakan menggunakan elektroforesis gel.

4.5. PCR AMPLIFIKASI DAN SEKUENSING DNA

Gen EF-1 α diamplifikasi menggunakan primer EF-1 dan EF-2 seperti yang dijelaskan oleh O'Donnell dkk. (1998). Amplifikasi dari gen EF-1 α dilakukan dalam volume reaksi 25 μ l yang mengandung 1x buffer reaksi PCR, 2,5 mM MgCl₂ (Bioline), 1 Unit Taq (Ampli Taq Gold), 1,0 mM campuran dNTP (Astral), 0,25 μ M masing-masing

primer EF1 dan EF2 (Sigma) dan 50-100 ng DNA. Amplifikasi dilakukan pada thermocycler DNA Corbett. Siklus dari amplifikasi adalah denaturasi awal 1 menit pada suhu 97 ° C, 35 siklus denaturasi pada suhu 96 ° C selama 1 menit, annealing pada suhu 50 ° C selama 1 menit, dan ekstensi pada suhu 72 ° C selama 1 menit, diikuti oleh ekstensi akhir pada suhu 72 ° C selama 7 menit.

Produk PCR dibersihkan menggunakan ExoSAP (ExoSAP-IT; Amersham Biosciences, Arlington Heights, IL) untuk menghilangkan eksese dari primer dan dNTP. Protokol menghilangkan eksese dari primer dan dNTP dengan cara menambahkan 2 µL ExoSAP ke 5 µL produk PCR dan diinkubasi dalam termokopler DNA selama 15 menit pada suhu 37 ° C diikuti oleh 15 menit pada suhu 80 ° C. Setelah inkubasi, campuran total diencerkan dalam 12 µL air steril. Sesudah pembersihan menggunakan ExoSAP, reaksi sekuensing dilakukan dalam volume reaksi 20 µL yang mengandung 0,34 µL air steril, 3,5 µL buffer pengenceran 5x, 1 µL BigDye terminator v3.1 (PE Biosystems Terapan, Foster City, CA, USA), 3,2 pmol primer dan 15 µL produk PCR yang sudah dimurnikan. Produk sekuensing kemudian dipindahkan ke tabung eppendorf 1,5 mL dan dimurnikan menggunakan pengendapan etanol dengan menambahkan 5 µL dari 125mM EDTA dan 60 µL etanol 100%. Produk sekuensing yang dimurnikan kemudian disentrifugasi selama 20 menit, diikuti dengan pengeluaran supernatan. Tabung 1,5 mL yang berisi hasil sekuensing yang dimurnikan, selanjutnya ditambahkan lagi dengan 250 µL etanol 70% dan disentrifugasi selama 10 menit, yang diikuti dengan pengeluaran supernatan. Tabung 1,5 mL dikeringkan pada blok

pemanas dengan suhu 90 ° C selama 1 menit. Produk sekuensing yang telah dimurnikan dikirim ke fasilitas pengurutan DNA.

4.6. UJI PATOGENISITAS

Tiga spesies *Fusarium* yang paling banyak diisolasi yaitu *F. oxysporum*, *F. solani*, dan *F. semitectum*, diuji patogenesis. Ketiga spesies ini dipilih karena diisolasi dari semua propinsi yang dijadikan sampel, dimana ke tiga spesies *Fusarium* ini menyumbang lebih dari 90% terhadap total isolat *Fusarium* yang dikoleksi. Tujuh isolat dari setiap spesies dipilih secara acak mewakili masing-masing tujuh provinsi yang dijadikan sampel. Dua tambahan isolate *F. oxysporum* yang berasal dari Kalimantan Timur dan Sulawesi Selatan yang diperoleh dari Dr Mesak Tombe (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Indonesia) dimasukkan dalam pengujian. Uji patogenesis menggunakan rancangan acak kelompok dengan lima ulangan. Perlakuan adalah tujuh isolate dari setiap spesies yang diseleksi secara acak mewakili ketujuh Propinsi yang dijadikan sampel. Inokulum untuk pengujian dihasilkan dengan mencampurkan benih millet dengan tanah yang sudah disterilkan dalam polybag. Cara pembuatan inokulum adalah sebagai berikut; empat ratus gram biji millet direndam dalam wadah berukuran 1liter yang berisi 500 ml air selama 2 hari. Selanjutnya air dibuang dan biji millet dikeringkan. Biji millet kemudian ditutup dengan aluminium foil, diautoklaf selama 20 menit pada suhu 121 ° C dan didinginkan semalam. Hari berikutnya biji millet diinokulasi dengan suspensi spora dari kultur yang dihasilkan dari spora tunggal di media CLA. Suspensi spora ini

ditumbuhkan selama 12 hari. Suspensi spora diambil dengan cara memanen miselium, mikrokonidia dan sporodokia dari permukaan media CLA dan dimasukkan kedalam tabung yang berisi air steril sebanyak 10 mL. Suspensi spora dihomogenisasi menggunakan mixer vortex sebelum ditambahkan ke botol flask yang berisi biji millet yang steril dalam kondisi aseptik. Pada perlakuan kontrol juga dibuat dengan menambahkan 10 ml air steril ke biji millet didalam botol flask. Botol flask diguncang agar suspensi spora dapat tersebar merata ke biji millet dan kemudian diinkubasi pada suhu kamar. Setiap 4 hari botol flask diguncang untuk memastikan suspense spora sudah tersebar ke seluruh biji millet. Setelah 15 hari inkubasi, inokulum dicampur dengan tanah steril dengan komposisi 20% inokulum per 300 g tanah dan dimasukkan kedalam polybag. Potongan stek batang vanilla (2 ruas per potongan) ditanam di setiap polybag. Polybag ditempatkan di dalam rumah kaca.



Gambar 16. Uji patogenesis yang dilakukan di rumah kaca

4.7. PENGAMATAN DAN ANALISIS DATA

Potongan stek batang vanila di dalam polybag diamati setiap hari untuk memonitor gejala busuk batang yang khas, seperti perubahan warna dan nekrosis. Apabila muncul gejala spesifik seperti perubahan warna menjadi kekuningan dan kecoklatan pada stek batang vanila maka dilakukan pencabutan stek vanila dari polybag. Kemudian stek batang tersebut dibilas didalam air steril dan permukaan stek batang disterilisasi dengan dengan etanol 70% lalu dibakar secara cepat dengan api. Selanjutnya stek batang dipotong dengan cara memotong (kira-kira tebal 5 mm) bagian antara jaringan nekrotik dan jaringan yang sehat. Selanjutnya potongan ini ditumbuhkan di cawan Petridis yang berisi media PPA. Cawan petridis yang berisi media PPA diinkubasi seperti yang dijelaskan di atas dan koloni yang berkembang dari bagian batang dimurnikan dan diidentifikasi morfologi seperti yang dijelaskan di bagian isolasi dan pemurnian diatas. Ini dilakukan sebagai konfirmasi Postulat Koch. Apabila isolat patogen yang dinokulasi bisa teridentifikasi kembali maka diberi nilai 1, sedangkan isolat patogen yang dinokulasi yang tidak teridentifikasi kembali diberi nilai 0. Karena data uji patogenitas adalah dichotomous, maka uji Cochran digunakan untuk menentukan perbedaan perlakuan dalam isolat (Conover 1999). Analisis statistik dilakukan menggunakan SPSS v.13.0 (SPSS Inc.).

4.8. HASIL SURVEY

Sebanyak 542 isolat *Fusarium* berhasil diidentifikasi selama survei pada tahun 2002 dan 2006, yang terdiri dari 12 spesies *Fusarium*.

Keduabelas spesies *Fusarium* tersebut adalah *F. decemcellulare*, *F. fujikuroi*, *F. graminearum*, *F. mangiferae*, *F. napiforme*, *F. oxysporum*, *F. polyphialidicum*, *F. proliferatum*, *F. pseudocircinatum*, *F. semitectum*, *F. solani*, dan *F. subglutinans*. Dari jumlah tersebut, *F. oxysporum*, *F. solani*, dan *F. semitectum* adalah tiga spesies paling dominan yang berasosiasi dengan penyakit ini. Dari 542 isolat *Fusarium*, persentase ketiga spesies ini sebesar 92,44%. *Fusarium oxysporum* berkontribusi sebesar 55,72% dari total isolat dan merupakan spesies paling dominan, diikuti oleh *F. solani* 25,65% dan *F. semitectum* 11,07% (Tabel 2).

Spesies *Fusarium* diverifikasi menggunakan sekuens DNA EF-1 α berdasarkan metode BLAST pada tingkat kesamaan mulai dari 89 hingga 99,68%. Spesies *Fusarium* yang diverifikasi ini selanjutnya dideposit di GenBank dengan nomor aksesori: GQ425225 (*Fusarium oxysporum*); GQ425226 (*Fusarium fujikuroi*); GQ425229 (*Fusarium polyphialidicum*); GQ425230 (*Fusarium pseudocircinatum*) dan GQ425231 (*Fusarium mangiferae*).

Spesies *Fusarium* yang disimpan di koleksi Royal Botanic Gardens Sydney adalah *Fusarium oxysporum* (RBG5370 - RBG5382), *Fusarium fujikuroi* (RBG5383), *Fusarium mangiferae* (RBG5384), *Fusarium napiforme* (RBG5385), *Fusarium polyphialidicum* (RBG5386), *Fusarium proliferatum* (RBG5387), *Fusarium pseudocircinatum* (RBG5388), *Fusarium semitectum* (RBG5389) dan *Fusarium solani* (RBG5390).

Fusarium oxysporum adalah spesies yang paling dominan ditemukan di setiap provinsi, kecuali Nusa Tenggara Barat di mana *F. solani*

adalah spesies yang paling dominan (Tabel 3.2). Persentase tertinggi isolat *F. oxysporum* berasal dari Lampung sejumlah 98 (32,45%) dari total isolat *F. oxysporum*. *Fusarium solani* adalah spesies paling dominan kedua setelah *F. oxysporum*. Sampel dari Bali berkontribusi sejumlah 50 (35,97%) dari total isolat *F. solani*, yang merupakan jumlah tertinggi dibandingkan dengan provinsi lain. *Fusarium semitectum* adalah spesies ketiga yang paling dominan setelah *F. oxysporum* dan *F. solani*. Provinsi Lampung menyumbang sebesar 20 isolat (33,33%) dari total isolat. *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, dan *F. semitectum* berhasil diisolasi dari semua provinsi yang dijadikan sampel (Tabel 3.2), sedangkan *F. graminearum* dan *F. subglutinans* berhasil diisolasi dari Sulawesi Utara.

Table 2. *Fusarium* species dan jumlah isolate yang diperoleh pada survey tahun 2002 dan 2006

<i>Fusarium</i> Species	Propinsi #							Total isolat	Frekwensi isolasi (%)
	A	B	C	D	E	F	G		
<i>F. decemcellulare</i> §		1				2		3	0.55
<i>F. fujikuroi</i> * †				3				3	0.55
<i>F. graminearum</i> §					2			2	0.38
<i>F. mangiferae</i> * †	1					1	1	3	0.55
<i>F. napiforme</i> †				1				1	0.18
<i>F. oxysporum</i> * †	70	34	17	98	23	36	24	302	55.72
<i>F. polyphialidicum</i> * †				1				1	0.18
<i>F. proliferatum</i> †	1			6	1			8	1.48
<i>F. pseudocircinatum</i> * †		10	3				2	15	2.77
<i>F. semitectum</i> †	7	19	1	20	4	8	1	60	11.07
<i>F. solani</i> †	50	2	11	17	16	12	31	139	25.65
<i>F. subglutinans</i> §					5			5	0.92
Total	129	66	32	146	51	59	59	542	

#A = Bali; B = Central Java; C = Jogjakarta; D = Lampung; E = North Sulawesi; F = West Java; G = West Nusatenggara

4.9. UJI PATOGENISITAS

Gejala pertama perubahan warna terdeteksi pada hari ke-4 setelah inokulasi dengan *F. oxysporum* .



Gambar 17. Gejala yang diperlihatkan dalam uji patogenisitas

Semua isolat *F. oxysporum* menginduksi perubahan warna dan gejala nekrosis pada setiap ulangan. Sebaliknya, tidak ada satu pun dari isolat *F. solani* yang menghasilkan gejala. Satu isolat *F. semitectum* dari Sulawesi Utara menyebabkan gejala perubahan warna pada satu ulangan. Namun, *F. semitectum* tidak teridentifikasi dalam proses reisolasi. Ini menunjukkan bahwa spesies ini bukan penyebab perubahan warna. Tidak ada gejala yang muncul pada perlakuan kontrol sampai pada saat penyelesaian uji patogenisitas (60 hari).

Masing-masing isolat *F. oxysporum* dari Jogjakarta, Lampung dan Kalimantan Timur berhasil diisolasi kembali dari lima ulangan. Sebaliknya, isolat *F. oxysporum* dari Bali, Jawa Tengah, Sulawesi Utara, Jawa Barat dan Nusa Tenggara Barat berhasil diisolasi kembali dari empat ulangan. *Fusarium oxysporum* dari Sulawesi Selatan berhasil diisolasi kembali dari tiga ulangan. Tidak ada perbedaan signifikan dalam patogenisitas antara isolat *F. oxysporum* yang diuji berdasarkan Cochran's Test pada $P = 0,05$.

4.10. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dua belas spesies *Fusarium* ditemukan dari spesimen penyakit yang dikumpulkan dari tujuh provinsi di Indonesia. Tiga spesies yang paling umum ditemukan adalah *F. oxysporum*, *F. semitectum* dan *F. solani*. Ketiga spesies ini menyumbang 92,44% dari total isolat *Fusarium*. Dari jumlah tersebut, *F. oxysporum* adalah spesies yang paling dominan, menyumbang 55,72% dari 542 isolat yang ditemukan, diikuti oleh *F. solani* dan *F. semitectum*.

Temuan tentang *F. oxysporum* ini sejalan dengan dengan penelitian yang dilaporkan oleh Tombe dkk. (1993), dimana mereka mengungkapkan bahwa 100 isolat *Fusarium* dari Bali, Jawa Tengah, Sulawesi Utara dan Jawa Barat, yang dikumpulkan dari akar, batang, daun dan polong vanila yang terkena busuk batang diidentifikasi secara morfologis sebagai *F. oxysporum*. Namun, tidak disebutkan spesies *Fusarium* yang lain.

Semua isolat *F. oxysporum* yang diuji bersifat patogen terhadap vanila sesuai dengan proses Postulat Koch. *Fusarium solani* dan *F.*

semitectum tidak bersifat patogen terhadap vanila. Meskipun satu potong yang diinokulasi dengan *F. semitectum* dari Sulawesi Utara mengalami perubahan warna, namun pada saat reisolasi *F. semitectum* tidak teridentifikasi. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilaporkan oleh Tombe dkk. (1993) bahwa *F. oxysporum f. sp. vanilae* adalah satu-satunya penyebab busuk batang vanila di Indonesia. *Fusarium solani* dilaporkan menyebabkan busuk akar vanila di Puerto Rico (Alconero dan Santiago 1969). Dalam laporan Alconero dan Santiago (1969), *F. oxysporum* dan *Fusarium solani* dianggap sebagai penyebab busuk akar tetapi penyebab busuk batang tidak jelas. *Fusarium solani* juga dilaporkan sebagai jamur endofit yang terkait dengan akar spesies tanaman lain (Macia-Vicente dkk. 2008).

Fusarium semitektum dilaporkan sebagai penyebab penyakit kanker pada kacang walnut, busuk polong dan biji pada kacang, mengurangi perkecambahan benih dan pertumbuhan bibit sorgum, busuk-kering pada melon, busuk saat penyimpanan pada mushroom dan buah-buahan lainnya seperti pisang (Leslie dan Summerell 2006). Namun, peran *F. semitektum* dalam penelitian busuk batang vanila di sini bukan sebagai patogen namun hanya sebagai jamur endofit atau saprofit. *Fusarium semitectum* juga dilaporkan oleh Wang dkk. (2007) sebagai jamur endofit di empat spesies *Gossypium* di Australia. Hal ini sesuai dengan kemampuan *F. semitectum* sebagai penginfeksi sekunder pada tanaman (Burgess 1981) dan sering ditemukan didaerah tropis (Burgess dkk. 1994; Phan 2006; Walsh 2007).

Selain ketiga spesies *Fusarium* yang umum ditemukan dalam penelitian ini diidentifikasi pula beberapa spesies yang berasosiasi dengan busuk batang vanila yaitu *F. proliferatum*, *F. subglutinans*, *F. decemcellulare*, *F. fujikuroi*, *F. mangiferae*, dan *F. graminearum*. Spesies *Fusarium* ini telah dilaporkan bersifat patogenik terhadap setidaknya satu spesies tanaman (Leslie dan Summerell 2006). Spesies lainnya yaitu, *F. pseudocircinatum*, *F. napiformae* dan *F. polyphialidicum* belum dilaporkan menyebabkan penyakit. Karena jumlah spesies *Fusarium* diluar ketiga spesies *Fusarium* yang umum ini lebih rendah dari 3%, spesies-spesies *Fusarium* ini dianggap sebagai jamur saprophytic atau endophytic pada tanaman vanila yang ada di Indonesia.

Penelitian ini mengidentifikasi asosiasi dari berbagai spesies *Fusarium* dengan busuk batang vanila di Indonesia. Ditemukannya *F. oxysporum f.sp vanilae* sebagai pathogen dari semua provinsi yang diambil sampel menunjukkan bahwa *F. oxysporum f.sp vanilae* tersebar luas di seluruh area penanaman vanila di Indonesia. Strategi yang paling menjanjikan dalam mengendalikan penyakit yang disebabkan oleh *F. oxysporum* adalah penggunaan kultivar yang tahan (Belabid dkk. 2004; Di Pietro dkk. 2003; Fouche dan Jouve 1999; Fravel dkk. 2003; Hadrami dkk. 2005; Louvet dan Toutain 1981). Pemuliaan vanila untuk ketahanan terhadap *F. oxysporum f.sp vanilae* telah dicoba dengan mengawinkan *Vanilla planifolia* dengan spesies non-komersial, *Vanilla phaeantha*. Beberapa progeni yang dihasilkan ditemukan resisten terhadap penyakit busuk batang vanila tetapi kualitas buahnya buruk. Progeni lainnya memiliki pertumbuhan

yang buruk secara umum atau rentan terhadap penyakit (Theis and Jimenez 1957). Klon vanila yang tahan terhadap patogen ini juga dihasilkan di Indonesia menggunakan colchicine (Lestari dkk. 2001). Klon klon diuji dalam uji coba lapangan dan dihasilkan empat klon terbukti resisten terhadap pathogen ini. Namun demikian hal ini perlu dievaluasi selanjutnya di berbagai lingkungan yang berbeda.

Pengendalian secara biologis adalah salah satu hal dalam pengelolaan penyakit busuk batang vanila yang telah diteliti secara ekstensif. Tombe dkk. (1997) menggunakan *F. oxysporum* dan *Pseudomonas fluorescens* non-patogen sebagai agen antagonis terhadap patogen dan menemukan bahwa mereka efektif dalam menekan aktivitas *F. oxysporum f. sp. vanilae*.

Fungisida juga telah digunakan untuk mengendalikan akar batang dan akar vanila (Fouche dan Jouve 1999). Tombe dan Sitepu (1986) melaporkan bahwa kombinasi phytosanitation dan penyemprotan dan penggunaan 0,25% Bavistin 50 WP (Carbendazim) pada interval 15 hingga 20 hari efektif dalam mengurangi penyakit busuk batang vanila. Metode kontrol lainnya seperti penerapan mulsa dan menghilangkan seluruh bagian batang yang terinfeksi digunakan dan berhasil untuk menekan pathogen busuk batang vanila. Selain itu, penggunaan daun cengkeh, *Eugenia aromatica*, sebagai mulsa di Indonesia telah diperkenalkan untuk mengendalikan penyakit. Tombe dkk. (1992) menunjukkan bahwa penambahan daun cengkeh menekan aktivitas *F. oxysporum f.sp. vanilae*. Dimusnahkannya jaringan tanaman vanila yang terinfeksi mengurangi potensi sumber inokulum patogen.

Spesies non-patogenik dari *Fusarium* telah digunakan untuk mengendalikan layu *Fusarium* pada berbagai tanaman (Alabouvette dkk. 1998). Sebagai contoh, *F. oxysporum* non-patogenik dilaporkan untuk mengendalikan layu *Fusarium* pada semangka (Larkin dkk. 1996). Juga, non-patogen *F. oxysporum* dan *F. solani* ternyata efektif terhadap pengendalian tiga ras dari strain patogen yang menyebabkan layu pada tomat (Larkin dan Fravel 1998; Larkin dan Fravel 2002).

F. oxysporum endofitik telah digunakan untuk menginduksi resistensi sistemik dari tanaman inang terhadap *Radopholus similis* pada pisang (Vu dkk. 2006) dan menekan reproduksi *R. similis* dalam akar tanaman inang (Athman dkk. 2007). Penggunaan spesies *Fusarium* endofit atau non-patogenik dalam pengendalian busuk batang vanila di Indonesia layak untuk diteliti lebih lanjut.

Hasil penelitian tentang spesies *Fusarium* yang berasosiasi dengan penyakit busuk batang vanilla merupakan informasi berharga sehubungan dengan keberadaan spesies *Fusarium* yang baru dikenal di Indonesia. Ada sembilan spesies *Fusarium* dari dua belas spesies yang ditemukan dari penelitian ini baru pertama kali teridentifikasi keberadaannya di Indonesia. Sembilan spesies *Fusarium* tersebut adalah *F. decemcellulare*, *F. graminearum*, *F. mangiferae*, *F. napiforme*, *F. polyphialidicum*, *F. proliferatum*, *F. pseudocircinatum*, *F. semitectum*, dan *F. subglutinans*. Tiga spesies lainnya yaitu *Fusarium fujikuroi*, *F. oxysporum* dan *F. solani* telah dikenal sebelumnya di Indonesia. Data tentang spesies *Fusarium* yang berasosiasi dengan penyakit busuk batang vanila, khususnya tentang kemunculan spesies *Fusarium* non-patogen dan endofit akan

berkontribusi pada penelitian manajemen penyakit di masa mendatang. Hasil penelitian yang dilaporkan di sini akan berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang etiologi penyakit busuk batang vanilla di Indonesia, serta ekologi *F. oxysporum f. sp. vanillae* dan strategi pengelolaan penyakit busuk batang vanilla secara terpadu.

BAB 5.

DESKRIPSI FUSARIUM SPECIES YANG BERASOSIASI DENGAN PENYAKIT BUSUK BATANG VANILA

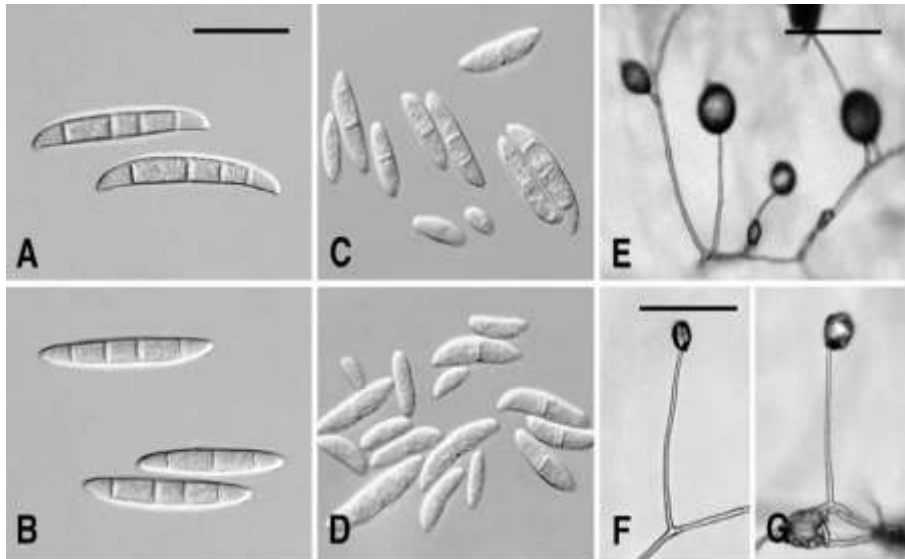
5.1. *Fusarium solani*

Tahapan seksual : *Haemanectria haematococca*

Sinonim : *Nectria haematococca*.

Distribusi Geografi dan Inang:

Kosmopolitan dan ditemukan pada berbagai substrat. Diisolasi secara teratur dari tanah di berbagai lingkungan. Patogen dari sejumlah besar spesies tanaman, terutama pohon.



Gambar *Fusarium solani*

A – B: Macroconidia; C – D: Microconidia; E – G: Microconidia in situ on CLA. A – D, scale bar = 25 µm; E, scale bar = 100 µm; F – G, scale bar = 50 µm.

Ciri-Ciri Kunci

Karakter di CLA.

Makrokonidia relatif lebar, lurus ke sedikit melengkung, 3-7 septa dengan ujung bulat dan ditemukan berlimpah. Jarang ditemukan pada sporodokia yang berwarna biru atau hijau. Mikrokonidia terbentuk di false head pada monofialida yang relatif panjang. Beberapa isolat bersifat homotika dan dapat menghasilkan perithecia yang berwarna merah atau oranye. Mikrokonidia berbentuk oval, ellipsoidal atau reniform, 0 atau 1 septa. Klamidospora sering ditemui berpasangan di hifa.

Karakter di PDA.

Kultur *Fusarium solani* biasanya berwarna putih sampai krem dengan miselium yang jarang. Sporodokia sering diproduksi dalam jumlah banyak dan berwarna krem, biru atau hijau. Banyak isolat tidak menghasilkan pigmen dalam agar meskipun beberapa violet atau pigmen coklat dapat diamati.

Makrokonidia

Sporodokia: sporodokia berwarna krem, biru atau hijau adalah umum pada potongan daun carnation pada media CLA dan mengandung banyak makrokonidia

Morfologi umum: relatif lebar, lurus, dan kuat.

Morfologi sel apikal: blunt dan bulat

Morfologi sel basal: dapat berbentuk kaki yang berbeda, lurus ke hampir berbentuk silinder, biasanya dengan lekukan atau dengan ujung yang bulat.

Jumlah septa: 5-7 septa.

Keberadaan: biasanya berlimpah di sporodokia.

Mikrokonidia

Bentuk / septasi: oval, ellipsoid, reniform dan fusiform dengan 0 atau 1 hingga kadang-kadang 2 septa.

Sel-sel koniogen: monophialides, seringkali cukup panjang.

Keberadaan: berlimpah

Klamidospora

Umumnya terbentuk secara acak dan cepat, biasanya dalam waktu 2-4 minggu pada CLA. Pembentukan klamidospora oleh *F. solani* telah dievaluasi dengan mikroskop elektron.

Dimana lokasi berada dalam hifa atau terbentuk secara terbatas pada cabang lateral pendek dan biasanya secara tunggal atau berpasangan, tetapi kadang-kadang dalam rantai pendek.

Penampilan: mungkin bulat ke bentuk oval dan halus atau berdingkas kasar.

Taksonomi, Patologi, dan Ekologi

Taksonomi untuk *Fusarium solani* di sini didasarkan pada yang dikembangkan oleh Snyder & Hansen dan digunakan oleh Nelson dkk.

Konsep taksonomi spesies ini adalah sederhana. Saat ini analisis

filogenetik sementara dilakukan. Karena belum selesainya analisis filogeni maka konsep sederhana ini merupakan salah satu pendekatan yang terbaik untuk identifikasi. Konsep spesies secara biologis adalah sejalan dengan konsep analisis filogeni dan telah lama dikenal dalam *F. solani*, termasuk kedua strain heterothallic dan homothallic. Banyak peneliti bingung untuk membedakan antara *F. solani* dan *F. oxysporum*. Kebingungan ini mencerminkan tumpang tindih dalam beberapa aspek morfologi dan ekologis dari *F. solani* dan *F. oxysporum*. Kedua spesies ini dapat dibedakan dengan pemeriksaan phialides yang mengandung mikrokonidia dan mikrokonidia itu sendiri. Monophialides panjang yang mengandung mikrokonidia ditemukan di *F. solani* sangat berbeda dari monophialides yang relatif pendek yang mengandung mikrokonidia di *F. oxysporum*. Mikrokonidia dari *F. solani* cenderung agak lebih lebar, bentuknya lebih lonjong, dan memiliki dinding yang lebih tebal daripada mikrokonidia *F. oxysporum*.

Distribusi dan Keberadaan.

Fusarium solani memiliki distribusi kosmopolitan. Ini dapat ditemukan berbagai tanah dan merupakan salah satu dari beberapa spesies *Fusarium* yang dapat ditemukan dengan jumlah frekuensi yang tinggi. Perithecia umumnya dapat diamati di lapangan pada daerah tropis basah, tetapi jarang di daerah beriklim sedang.

Fusarium solani dicatat sebagai patogen pada berbagai tanaman inang yang luas dan beragam. *Fusarium solani* diidentifikasi sebagai patogen dari sejumlah legum dan tanaman tropis lainnya di mana

sering dikaitkan dengan kanker pada tanaman dan mati-punggung pada pohon. Beberapa tanaman yang penting secara ekonomi disebabkan oleh *F. solani* termasuk alpukat, kacang, jeruk, anggrek, kacang polong, cabai, kentang dan labu. Strain *Fusarium solani*, kadang-kadang disebut *F. solani f. sp. glisin*, yang menyebabkan sindrom kematian mendadak pada kedelai.

Fusarium solani telah digunakan dalam pengendalian secara biologis. Diantaranya adalah pada tanaman *Euphorbia spp*, dan enceng gondok. Selain itu juga dapat berfungsi sebagai mycoparasite untuk *Phomopsis sclerotioides* dan *Mucor spinosus*. Secara kompetitif, isolat non-patogenik *F. solani* dapat berfungsi sebagai kontrol biologis dari layu *Fusarium* pada tomat dan dapat lebih efektif sebagai agen pengendali biologi pada mikroba lainnya seperti *Burkereria*, *Gliocladium*, *Pseudomonas* dan *Trichoderma*.

Fisiologi.

Perkecambah spora dari *F. solani* dirangsang oleh aldehida dari beberapa asam lemak seperti heptanal, okonal, nonanal, decanal dan undecanal dan flabanoids. Perkecambah spora terganggu ketika strain terkena inhibitor protein kinase cAMP-dependent dan cAMP phosphodiesterase. Kemampuan hidup klamidospora menurun jika mereka dipertahankan di tanah nonsteril di bawah kondisi lembab pada suhu kamar. Kemampuan hidup akan meningkat jika mereka dipertahankan pada suhu dingin di bawah kondisi kering. Makrokonidia mungkin memerlukan etanol atau serin untuk berkecambah dalam beberapa kondisi dan dapat dihambat oleh

amonias dan pH dalam kondisi lain. Kandungan lipid dari makrokonidia dapat mempengaruhi pembentukan klamidospora, tetapi persistensi klamidospora di lapangan tidak terpengaruh oleh kandungan lipid.

Morfologi koloni sensitif terhadap kadar K⁺ dan perubahan dari pola zonasi menjadi pola berbulu ketika level K⁺ turun.

Mekanisme patogenitas *F. solani* terhadap tumbuhan telah dipelajari secara luas. Antara lain dengan menggunakan enzim cutinase (s) dan mode pelekatan spora serta penetrasi pada permukaan inang. Ini penting untuk menentukan apakah strain merupakan patogen yang efektif dan melihat tingkat penyakit yang disebabkan oleh strain tersebut. Dilaporkan juga bahwa patogenitas terhadap kukurbita dikendalikan oleh banyak gen.

Gen untuk patogenitas terhadap kacang termasuk dalam faktor yang kompleks. Gen yang mengkodekan pisatin demethylase (kadang-kadang disingkat PDA) terletak pada dispensible kromosom, tetapi gen yang diperlukan untuk patogenitas terhadap tomat dan wortel terletak di tempat lain dalam genom. *F. solani* juga dapat menurunkan phytoalexins lainnya seperti kievitone yang diproduksi sebagai bagian dari respon tanaman terhadap beberapa serangan jamur. Beberapa protein yang diproduksi oleh jamur memicu respons resistensi spesifik dan sistemik oleh inang.

Jenis naphthaquinones seperti dihydrofusarubin dan isomarcicin, berhubungan dengan klorosis pada jeruk dan dapat ditemukan di jaringan xilem tanaman yang sakit. Produksi pigmen umumnya

diwariskan secara kualitatif menurut hukum Mendel dan terpisah dari patogenik tanaman yang kemungkinan diwariskan secara kuantitatif.

Biokimia.

Sejumlah enzim berbeda yang dihasilkan oleh *F. solani* telah dipelajari. Beberapa enzim ini dapat berperan dalam proses patogenisitas termasuk cutinase dan enzim yang terlibat dalam degradasi berbagai phytoalexins. Baik *F. oxysporum* dan *F. solani* dapat menguraikan α -tomatine, phytoalexin yang dihasilkan oleh tomat, tetapi antibodi poliklonal dapat mengenali enzim dari *F. oxysporum* tetapi tidak dapat mengenali enzim dari *F. solani*. Enzim-enzim lain yang diuji termasuk D-amino acid oxidase, selulase, chitosanases, α -dialkyl amino acid transferase, esterases, levoglucosan kinase, lipase, pectate lyase, polygalacturonase, protease serin dan tanin asil hidrolase.

Enzim cutinase secara khusus telah dipelajari secara intensif, sehubungan dengan interaksi antara patogen dan tanaman inang hingga pada tingkat molekuler. Enzim ini telah secara ekstensif dicirikan secara biokimia dalam bentuk yang bebas dan termobilisasi dan telah dikristalkan. Hasilnya enzim ini tidak selalu memiliki peran dalam berbagai penyakit yang disebabkan oleh jamur ini. Cutinase juga dapat digunakan sebagai aditif untuk deterjen cucian di mana membantu menghilangkan noda berbasis lemak dan sedang dievaluasi untuk produksi industri.

Fusarium solani memiliki enzim sianida hidratase yang mungkin berguna untuk bioremediasi situs yang terkontaminasi dengan sianida.

Enzim ini memungkinkan *F. solani* untuk memanfaatkan formamida sebagai sumber nitrogen tunggal, tetapi produksi enzim tidak menginduksi adanya formamida, tetapi hanya dengan adanya sianida. Enzim ini juga telah dipelajari dengan baik pada *F. oxysporum*. *Fusarium solani* dapat memetabolisme steroid dari berbagai dan berbagai komponen lignin dan produk pemecahnya dan juga dapat melepaskan sulfur dari berbagai polutan organik yang kompleks.

Genetika dan biologi molekuler.

Mitosis dalam *F. solani* telah dipelajari secara mendasar dan terperinci tentang peran mikropubulus spindel dan astral dalam proses pembelahan sel. Rekombinasi dan segregasi kromosom pada hibrida yang dihasilkan dari fusi protoplas dapat digunakan sebagai penanda untuk kelompok-kelompok yang terkait. Hasil pengamatan pada *F. solani* ternyata memiliki 5-13 kromosom.

Secara genetik, *F. solani* membawa sejumlah kromosom "B" yang tidak bersegregasi dalam pola 1: 1 dalam proses meiosis. Kromosom "B" ini dapat membawa satu atau lebih salinan dari beberapa unsur transposabel dan terlibat dalam patogenitas terhadap kacang. Beberapa strain *F. solani* membawa dsRNA mycoviruses dan plasmid mitokondria linear tetapi tidak mengubah morfologi dari strain. Selain itu beberapa mRNA yang berhubungan dengan stres telah diidentifikasi dan dikarakterisasi. Sejumlah gen telah dikloning dari *F. solani* termasuk a mitogen yang merupakan pengaktif protein kinase.

Vegetatif kompatibilitas juga telah dipelajari pada *F. solani*. Memulihkan *nit* mutan kadang –kadang sulit dan untuk itu *sul* (sulfate non-reducing) mutant sering digunakan sebagai gantinya. Hasil pengamatan dari strain yang diamati menunjukkan bahwa proporsi yang relatif tinggi didapati pada “heterokaryon self- inkompatibel. Transformasi vektor dan protokol telah dikembangkan untuk *F. solani* termasuk protokol yang membatasi pertumbuhan koloni. Ada juga banyak laporan penelitian tentang fragmen DNA yang spesifik baik untuk *F. solani* secara keseluruhan atau untuk subkelompok tertentu di dalam spesies. Contoh diidentifikasinya sebuah intron di subunit RNA yang polimorfik yang memiliki tujuh alel berbeda. Kebanyakan studi ini didasarkan pada set strain yang relatif kecil dan belum diterima digunakan dalam skala luas. Studi-studi ini juga termasuk tes berbasis PCR yang dikembangkan khusus untuk mendeteksi *F. Solani*.

Patogenitas manusia.

Sehubungan dengan patogenitas terhadap manusia, *F. solani* telah berhasil diisolasi dari mata, kuku dan kulit, tulang, rongga hidung, luka yang terinfeksi, kanker yang terinfeksi dan pasien HIV. *Fusarium solani* juga dapat menyebabkan endokarditis dan penyakit paru-paru serta telah terbukti bersifat alergi

Kultur dari jaringan yang terinfeksi lebih akurat daripada pengamatan langsung dari hifa jamur di jaringan yang terinfeksi. *Fusarium solani* tahan terhadap sebagian besar anti jamur klinis, misalnya,

clotrimazole, flucytosine, itrakonazol dan mikokonazol. Natamycin dilaporkan sebagai yang paling efektif dalam penggunaan anti jamur, tetapi pada beberapa infeksi sistemik obat tidak cukup. Amidoamine myristamidopropyl di- methylamine, amorolfine , pentamidene dan vorikonazol telah disarankan sebagai antibiotik klinis yang berpotensi efektif terhadap *F. solani* tetapi belum diuji secara luas dan mungkin memerlukan pemantauan tambahan untuk mencegah efek samping. Pentamidene lebih efektif terhadap spesies *Fusarium* lain daripada digunakan untuk *F. Solani*. Fenpropimorf dikenal untuk menghambat pembentukan ergosterol pada *F. solani* .

Fusarium solani lebih tahan terhadap serangan fagosit manusia daripada kebanyakan fungi lainnya. *F. solani* telah ditemukan mencemari sistem air di rumah sakit. Sistem air di rumah sakit dapat berfungsi sebagai reservoir untuk terjadinya infeksi berulang oleh *F. solani* selama beberapa tahun.

Patogenitas Hewan.

Fusarium solani adalah patogen dalam pengujian terhadap tikus dan merupakan satu-satunya spesies *Fusarium* yang bersifat patogen dalam pengujian yang dilakukan.

Strain *F. solani* yang diisolasi melalui tikus lebih virulen daripada strain yang awalnya diisolasi dari tanah. Hasil ini menunjukkan bahwa strain *F. solani* yang diambil dari hewan perlu diperlakukan dengan lebih hati-hati daripada dari tanah atau tanaman yang sakit.

Fusarium solani bersifat racun dan atau bersifat patogen terhadap sejumlah hewan selain manusia. Patogenisitas pada udang karang,

anjing, beberapa serangga, lintah, udang, hiu, ular dan kura-kura. Racun. *F. solani* dikaitkan dengan wabah dilapang pada ubi jalar berjamur yang meracuni sapi dan sindrom androgenik pada ayam. Racun yang berasosiasi dengan kentang manis yaitu furanoterpenoid, menyebabkan pneumonia. Senyawa-senyawa ini bukan mikotoksin dalam arti kata secara harfiah karena jamur memodifikasi phytoalexins yang disintesis oleh tanaman sebagai respons terhadap tekanan non-spesifik untuk menghasilkan senyawa beracun. Racun yang diproduksi dalam ubi jalar juga aktif melawan sejumlah hewan lain, termasuk tikus dan manusia, dan tidak hancur atau rusak oleh proses pemanasan. Androgen terkait dengan sindrom androgenik pada ayam adalah hasil dari metabolisme jamur dari alkaloid steroid yang dihasilkan oleh pohon inang.

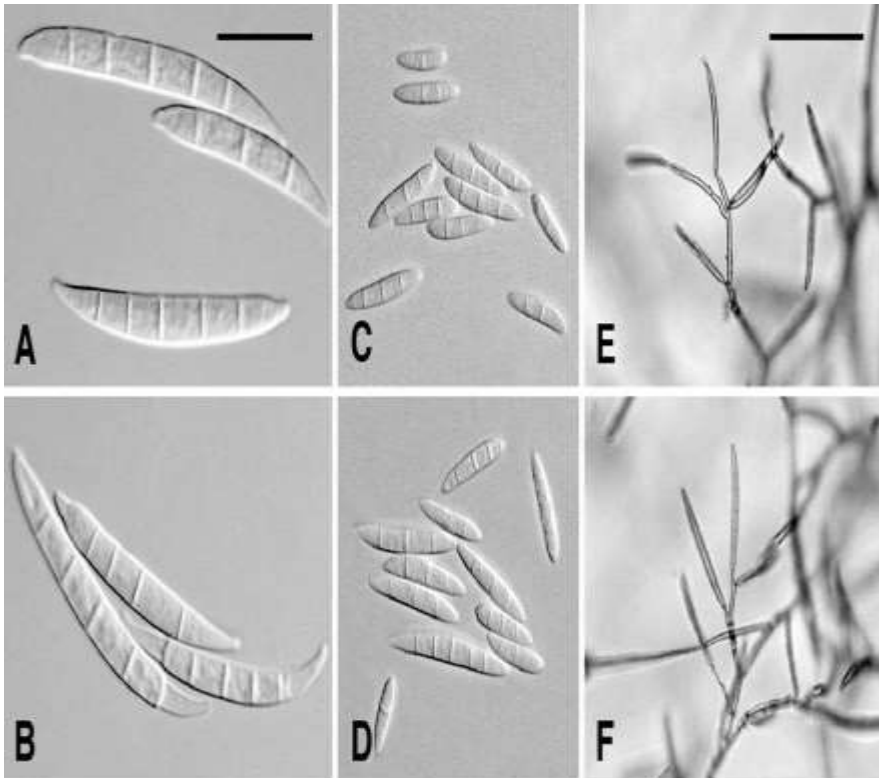
Laporan sebelumnya dari produksi mikotoksin trichothecene dan zearalenone oleh *F. solani* belum dikonfirmasi. *Fusarium solani* membawa gen yang mengkodekan gen trichothecene 3-O-acetyltransferase fungsional, yang dapat digunakan sebagai pertahanan terhadap trichothecene mycotoxins.

Beberapa strain *F. solani* menghasilkan senyawa immunosupresif siklosporin A, yang dapat meningkatkan potensi patogen jamur ini terhadap hewan, terutama pada infeksi langsung. *Fusarium solani* menghasilkan berbagai pigmen tipe naphthaquinone yang sering merupakan komponen dari proses patogenisitas tanaman. Senyawa lain yang diketahui disintesis oleh *F. solani* termasuk fusalanipyron, asam fusarat dan moniliformin. Selain senyawa ini, sejumlah senyawa beracun kimia yang tidak teridentifikasi juga disintesis oleh *F. solani*.

5.2. *Fusarium semitectum*

Sexual Stage. None known.

Common Synonym. *Fusarium pallidoroseum*, *Fusarium incarnatum*.



Gambar *Fusarium semitectum*

A – B: Makrokonidia; C – D: Mesoconidia; E – F: Mesoconidia in situ on CLA. A – D, scale bar = 25 μm ; E– F, scale bar = 50 μm .

Distribusi dan Inang

Secara teratur ditemukan di bagian tanaman udara di daerah subtropis dan tropis. Seringkali dikaitkan dengan penyimpanan membusuk pada pisang

Ciri-Ciri Kunci

Karakter di CLA, makrokonidia tidak umum, tetapi ketika diamati sedikit melengkung dengan sel basal berbentuk kaki dan dapat terbentuk dalam bentuk sporodokia yang berwarna oranye. Karakter yang paling menonjol adalah produksi yang melimpah dari mesoconidia dari polyphialides di area miselia. Mesoconidia ini mudah diamati secara mikroskopis dan tampilannya seperti "telinga kelinci". Pembentukan klamidospora bervariasi pada strain dan klamidospora mungkin sulit ditemukan di beberapa media kultur.

Karakter di PDA, *Fusarium semitectum* biasanya tumbuh dengan cepat dan menghasilkan miselia yang padat dimana awalnya berwarna putih dan menjadi coklat muda. Pigmen coklat juga dapat diproduksi. Sporodokia berwarna oranye muda dapat diproduksi oleh beberapa strain.

Makrokonidia

Sporodokia: sporodokia oranye dihasilkan pada daun karnation pada CLA oleh beberapa strain.

Morfologi umum: relatif ramping dengan permukaan dorsal melengkung dan permukaan ventral lebih tegak.

Morfologi sel apikal: melengkung dan meruncing ke suatu titik.

Morfologi sel basal: berbentuk kaki.

Jumlah septa: 3 - 5- septa.

Keberadaan: mungkin sulit ditemukan di beberapa media kultur .

Mikrokonidia / Mesoconidia

Bentuk / septasi: mikrokonidia berbentuk pyriform dengan obovate dan biasanya 1 septa dan paling umum pada kultur yang lebih tua.

Mesoconidia adalah fusoid dan 3 hingga 5 septa.

Presentasi miselium aerial: spora individual per phiside, tetapi sering dua spora per polifial untuk memberikan penampilan "telinga kelinci".

Sel-sel koniogenogen: monophialides dan polyphialides.

Keberadaan: mesoconidia melimpah, mikrokonidia langka dan sering sulit ditemukan.

Klamidospora

Keberadaan: ada, tetapi tidak umum, tidak adanya klamidospora bukanlah karakter diagnostik yang dapat diandalkan.

Lokasi: ditemukan di hifa baik secara tunggal maupun dalam rantai, dan secara tunggal dalam konidia.

Penampilan: globose dan halus, awalnya hyaline, tetapi bisa menjadi warna kuning muda seiring bertambahnya usia.

Taksonomi, Patologi, dan Ekologi

Status taksonomi *F. semitectum* berubah dari waktu ke waktu. Gerlach & Nirenberg menjelaskan tiga varietas, *F. semitectum* var. *semitectum*, *F. semitectum* var. *majus*, dan *F. semitectum* var. *violaceum*. Teknik molekuler menunjukkan bahwa *F. semitectum* mungkin adalah spesies yang kompleks, tetapi saat ini telah membatasi deskripsi ke satu nama nomenklatur. Mengingat kesulitan

nomenclatural ini, nama *F. semitectum* yang lebih dikenal (atau spesies kompleks).

Spesies ini kemungkinan besar akan disamakan dengan *F. subglutinans sensu lato*, *F. polyphialidicum* dan *F. sporotrichioides*, yang semuanya dapat menghasilkan mikrokonidia berbentuk spindel dari polifial pada CLA. Mikrokonidia ini sering diproduksi berpasangan dan tampak seperti “telinga kelinci” pada CLA. Ada beberapa karakter yang membedakan spesies ini termasuk produksi pigmen coklat pada PDA. Selain itu ukuran dan bentuk mesoconidia, dan ketiadaan mikronidia. Makrokonidia sporodokial mirip dengan yang ditemukan pada *F. equiseti* dan *F. heterosporum*, tetapi spesies ini tidak menghasilkan mikrokonidia atau mesoconidia berbentuk spin yang biasanya dihasilkan oleh *F. semitectum*. Kultur dari *F. semitectum* yang berdegenerasi ke tipe pionnotal masih menghasilkan mesoconidia berbentuk spindel. Meskipun kedua jenis tipe kawin MAT-1 dan MAT-2 dikenal dalam *F. semitectum*, tetapi tidak ada tahap seksual untuk spesies ini yang telah diidentifikasi.

Fusarium semitectum umumnya diisolasi dari tanah dan dari beragam bagian tanaman udara di daerah tropis dan sub-tropis, misalnya, buah pisang dan daun palem, tetapi juga dapat diisolasi dari tanah di bagian artik dan gurun. Meskipun ada banyak laporan *F. semitectum* yang terlibat dalam berbagai penyakit tetapi sering tidak dianggap sebagai patogen tanaman yang penting. *F. semitectum* telah dilaporkan menyebabkan kanker kenari, penyakit tanaman ornamental, polong, biji bijian, mengurangi perkecambahan biji dan pertumbuhan bibit sorgum, masalah pembusukan pada penyimpanan

jamur, pisang dan buah-buahan lainnya dan merupakan salah satu jamur dominan pada butiran millet. Serbuk sari dari sorgum dan butiran millet merupakan tempat perkecambahan konidia *F. semitectum*.

F. semitectum digunakan sebagai agen pengendali hayati yaitu sebagai patogen untuk enceng gondok dan Mimosa invisa pada beras.

F. semitectum juga digunakan sebagai agen pengendali hayati pada ergot pada millet. Dimana perannya adalah mengurangi pembentukan dan perkembangan sklerotia. Selain itu *F. semitectum* juga dapat digunakan sebagai parasite pada *Rhizoctonia solani* dan *Sclerospora graminicola*.

Fusarium semitectum resisten terhadap, itraconazole, miconazole dan flucytosine, dengan amfoterisin B dan natamycin. *Fusarium semitectum* dapat menyebabkan endokarditis, infeksi kulit dan diseminata pada pasien immunocompromised dan luka bakar.

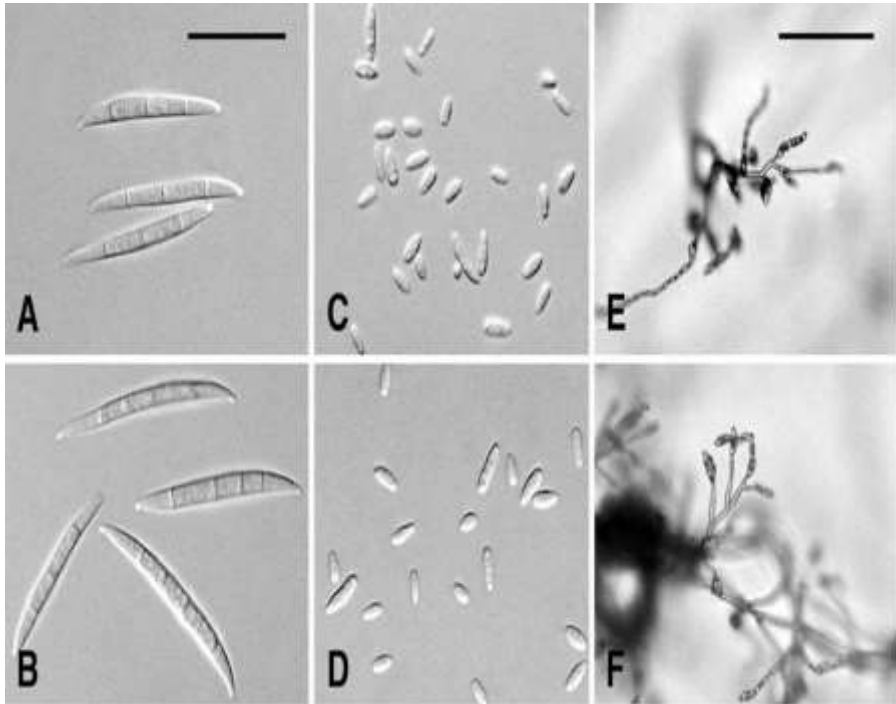
Fusarium semitectum telah dikaitkan dengan emfisema paru-paru bovin, (penyakit yang biasanya terkait dengan *F. Solani*).

Fusarium semitectum menghasilkan apicidins, beauvericin, equisetin, fusapyrone, moniliformin, sambutoxin, trichothecenes, dan zearalenone. Beberapa ekstrak dari *F. semitectum* memiliki aktivitas insektisida, tetapi senyawa yang bertanggung jawab untuk aktivitas insisidal belum diidentifikasi. *Fusarium semitectum* juga memiliki aktivitas insektisida yang mungkin tidak terkait dengan aktivitas toksin

5.3. *Fusarium proliferatum*

Sexual Stage. *Gibberella intermedia* (Kuhlman) Samuels, Nirenberg & Seifert.

Common Synonyms. *Gibberella fujikuroi* mating population D, *Gibberella fujikuroi* var. *intermedia*.



Gambar *Fusarium proliferatum*

A – B: Makrokonidia; C – D: Mikrokonidia ; E – F: Mikrokonidia in situ on CLA. A – D, scale bar = 25 μ m; E – F, scale bar = 50 μ m.

Distribusi dan Inang

Distribusi di seluruh dunia pada berbagai substrat pertanian dan non-pertanian. Menyebabkan penyakit pada jagung, sorgum, mangga dan asparagus.

Ciri-Ciri Kunci

Karakter di CLA.

Makrokonidia adalah tipikal mereka yang dibentuk oleh spesies di dalam spesies kompleks *G. fujikuroi* dan ditemukan pada sporodokia berwarna oranye pucat yang mungkin jarang diproduksi atau sulit ditemukan. Makrokonidia ramping, hampir lurus, dan biasanya 3 hingga 5 septa. Mikrokonidia terbentuk dalam rantai dan jarang dalam bentuk false head dari monophialides dan polyphialides. Polifial dapat berkembang biak secara luas. Rantai mikrokonidia tidak terlalu panjang dan biasanya lebih pendek daripada yang dibentuk oleh *F. verticillioides*. Mikrokonidia berbentuk klub dengan dasar pipih dan mikrokonidia pyriform dapat dibentuk oleh beberapa strain. Klamidospora tidak ada.

Karakter di PDA.

Miselium udara yang melimpah awalnya berwarna putih tetapi bisa menjadi ungu sesuai dengan berjalannya waktu. Sporodokia kemungkinan bisa diamati. Pigmen violet biasanya diproduksi dalam agar, tetapi pigmentasi keseluruhan bervariasi dalam intensitas dari hampir tidak berwarna hingga hampir hitam. Sclerotia yang berwarna biru kehitaman dapat berkembang di beberapa isolat.

Makrokonidia

Sporodokia: sporodokia berwarna oranye pucat sulit ditemukan karena jarang dihasilkan

Morfologi umum: ramping, berdinding tipis, relatif lurus dan merupakan ciri kusus yang dihasilkan oleh spesies *G. fujikuroi* kompleks

Morfologi sel apikal: melengkung.

Morfologi sel basal: tidak berkembang dengan baik.

Jumlah septa: biasanya 3 hingga 5 septa.

Keberadaan: keberadaan makrokonidia bervariasi karena karakter ini dapat hilang pada spesies ini setelah dilakukan kultur berulang. Kultur segar biasanya menghasilkan makrokonidia dalam jumlah besar di sporodokia.

Mikrokonidia

Bentuk : berbentuk klub dengan tidak ada septa. Mikrokonidia pyriform juga dapat terbentuk tetapi umumnya jarang.

Presentasi miselium aerial: dapat ditemukan dalam rantai yang bervariasi, tetapi biasanya sedang samapai panjang, false head, atau agregat berupa dari beberapa mikrokonidia.

Sel-sel koniogenogen: monophialides dan polyphialides.

Keberadaan: berlimpah di miselia udara.

Klamidospora. Tidak ada.

Taksonomi, Patologi, dan Ekologi

Fusarium proliferatum pertama kali digambarkan sebagai spesies *Cephaeosporium* oleh Matsushima dan digambarkan sebagai spesies *Fusarium* oleh Nirenberg. *Fusarium proliferatum* dikenali sebagai spesies oleh Gerlach & Nirenberg dan Nelson dkk. Sebelum

Nirenberg mendeskripsikan spesies, *Fusarium proliferatum*, sebagian besar isolat *F. proliferatum* mungkin telah diidentifikasi sebagai *F. Moniliforme* sehingga banyak penelitian tentang *F. proliferatum* mungkin tidak dapat dipisahkan dari pada *F. moniliforme*.

Fusarium proliferatum kemungkinan besar akan disamakan dengan *F. fujikuroi*, *F. oxysporum*, *F. thapsinum* dan *F. verticillioides*. Secara morfologis *F. proliferatum* dan *F. fujikuroi* tidak dapat dibedakan secara efektif. Mereka biasanya, tetapi tidak selalu, dapat dibedakan dengan menggunakan tes perkawinan atau dengan urutan DNA. Dilaporkan bahwa pemisahan antara mereka sebagai spesies biologis tidak lengkap dan secara alami terjadi persilangan diantara dua spesies ini. Kultur pada media PDA untuk *F. proliferatum* dan *F. oxysporum* sering tampak serupa, tetapi spesies ini mudah dibedakan dengan keberadaan mikrokonidia dalam rantai untuk *F. proliferatum* dan adanya klamidospora dan mikrokonidia di false head untuk *F. oxysporum*. *F. proliferatum* dapat dibedakan dari *F. thapsinum* dan *F. verticillioides* oleh kehadiran polifial dan rantai pendek mikrokonidia. *Fusarium proliferatum* belum pernah dipelajari secara mendalam dari perspektif genetika populasi. Strain patogenik untuk asparagus memiliki banyak VCGs. Beberapa strain tersebar pada beberapa VCG tetapi beberapa strain terbatas pada VCG tunggal. Rekombinasi seksual kemungkinan terjadi untuk memastikan bahwa sebagian besar populasi muncul karena adanya perkawinan secara acak. Efektifitas ukuran populasi dipengaruhi oleh penurunan jumlah strain betina yang subur.

F. proliferatum dilaporkan mempunyai fragmen DNA yang spesifik. Laporan ini berdasarkan dari hasil studi tentang jumlah set strain yang relatif kecil sehingga penggunaannya belum dalam skala luas. Polimorfisme pada urutan mtDNA untuk *F. proliferatum* telah dilaporkan dan polimorfisme ini digunakan untuk menunjukkan bahwa beberapa strain ganda dapat secara simultan menyerang tanaman inang tunggal. Analisis AFLP cDNA dilaporkan dapat digunakan untuk membedakan pertumbuhan sel dan tahap produksi mikotoksin pada *F. proliferatum*.

Beberapa strain *F. proliferatum* membawa satu atau lebih molekul dsRNA, tetapi molekul dsRNA ini tidak memiliki efek yang diketahui pada fenotip dari morfologi.

Pertumbuhan linear maksimum untuk *F. proliferatum* dilaporkan terjadi pada 25 ° C dan potensi osmotik -1.0 MPa. Conidia berkecambah secara optimal pada 30 ° C. Antioksidan yang tersedia secara komersial dapat digunakan untuk menekan dan mengurangi pertumbuhan *F. proliferatum* dan mengurangi jumlah fumonisin yang diproduksi secara insitu. *Fusarium proliferatum* dapat tinggal di puing batang jagung baik di permukaan tanah atau terkubur di lapangan selama setidaknya 21 bulan. Injeksi suspensi spora melalui daun kulit jagung dapat digunakan untuk membedakan satu sama lain pada galur jagung yang tahan atau peka terhadap penyakit busuk telinga oleh *Fusarium*.

Akusisi gen-gen toksin oleh *F. proliferatum* and *F. verticillioides* dan toksin yang diproduksi bukan berasal dari karakter yang homolog. Sehingga ini dapat digunakan untuk studi filogenetik.

Fusarium proliferatum diisolasi dari berbagai lingkungan tumbuh di seluruh dunia. *Fusarium proliferatum* menyebabkan penyakit busuk akar pada bibit pinus, busuk mahkota dan akar busuk asparagus, pinus decline. Selain itu, penyebab pembusukan batang dan tongkol jagung. Beberapa isolat *F. proliferatum* yang secara genetika berbeda dapat diisolasi dari satu tanaman jagung. Jagung hibrida "BT", yang kurang rentan terhadap penggerek jagung *Eropa Ostrinia nubilalis*, memiliki tingkat infeksi yang lebih rendah dibandingkan dengan hibrida jagung yang dihasilkan dari tanpa transgenik, diisolasi dari beberapa spesies rumput asli Amerika Utara. *Fusarium proliferatum* juga dilaporkan sebagai endofitik dalam gandum dan bisa mengubah respon pertahanan pada tanaman tersebut. Inang lain yang dilaporkan untuk *F. proliferatum* termasuk pisang, buah jeruk, anggrek, beras, dan sorgum. *Fusarium proliferatum* bisa sebagai mycoparasitic dan saat ini sementara dievaluasi untuk dijadikan sebagai pengendali hayati dari *Plasmopara viticola*, agen penyebab penyakit busuk anggur. Selain itu sedang dievaluasi sebagai agen pengendali hayati dari *Euphorbia spp.*

Fusarium proliferatum dapat menghasilkan protease dan β -glukosidase pada kondisi fermentasi yang memungkinkan sehingga dapat memproduksi enzim komersial sederhana yang berasal dari limbah tanaman. Spesies ini juga dapat menghasilkan β -xylosidase yang mampu mendegradasi serat jagung. Beberapa isolat *F. proliferum* menghasilkan lakase dan enzim terkait yang mungkin

terlibat dalam biodegradasi senyawa yang mengandung lignin. Strain lain dari *F. proliferatum* dapat memecah ethynylestradiol, senyawa estrogenik yang dapat bertahan baik di air maupun tanah pertanian. Enzim lain yang dikarakterisasi dari *F. proliferatum* termasuk katalase, lipoksigenase, dan superoksida dismutase.

Fusarium proliferatum tidak patogen dalam uji eksperimental menggunakan tikus imunokompeten. Setidaknya ada satu kasus *F. proliferatum* yang dilaporkan bertanggung jawab atas kematian pasien manusia immunocompromised. Selain itu *Fusarium proliferatum* bertanggung jawab terhadap infeksi pasien sehat.

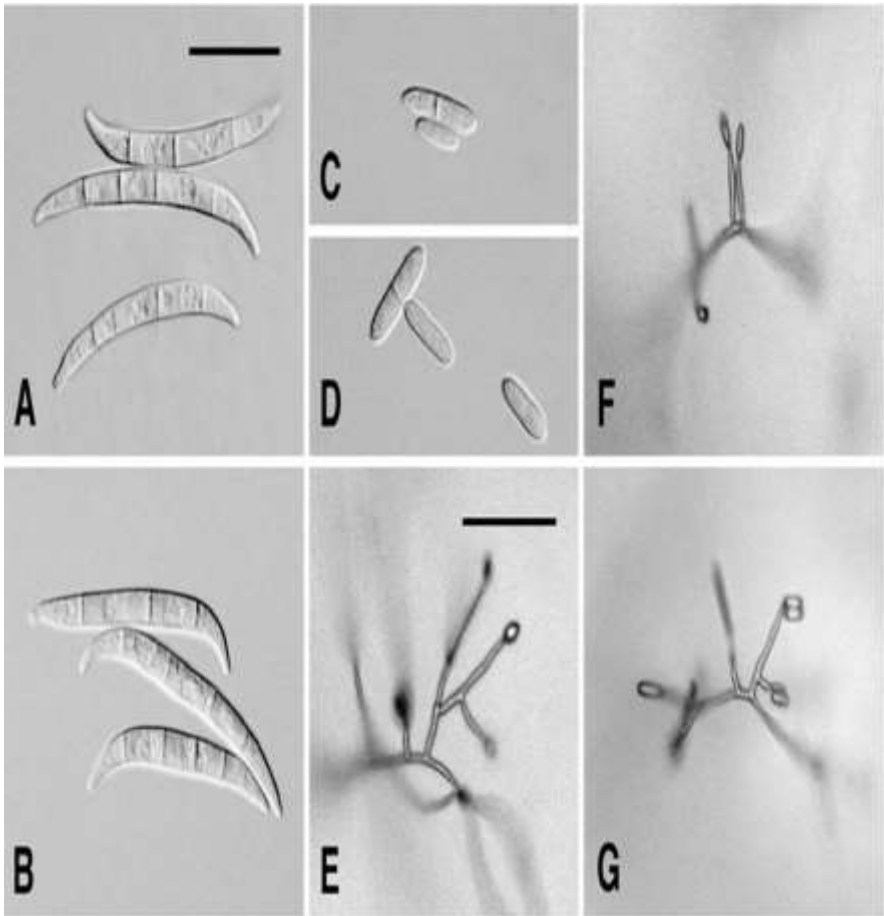
Fusarium proliferatum resisten terhadap sebagian besar obat antijamur, termasuk tahan terhadap amfoterisin B dan posaconazole.

Pada tes terhadap pakan yang terkontaminasi, toksisitas terhadap bebek berkorelasi dengan jumlah moniliformin yang dihasilkan dan tidak dengan jumlah fumonisins yang dihasilkan. Biji-bijian yang terkontaminasi juga menyebabkan kematian, perdarahan dan diare pada tikus percobaan. Isolat *F. proliferatum* dapat menghasilkan asam gibberelat dan berbagai mikotoksin sering pada tingkat tinggi termasuk beauvericin, fusaproliferin, asam fusarat, fusarin dan moniliformin.

Kisaran inang yang luas dari jamur ini dapat menghasilkan fumonisins yang diisolasi dari sumber yang tampaknya tidak mungkin seperti asparagus dan bawang putih. Ada beberapa strain *F. proliferatum* dapat dengan cepat menurunkan fumonisins

5.4. *Fusarium polyphialidicum*

Tahapan seksual. Tidak diketahui.



Gambar *Fusarium polyphialidicum*

A – B: Makrokonidia; C – D: Mikrokonidia ; E – G: Mikrokonidia in situ on CLA. A-D, scale bar = 25 μm ; E – G, scale bar = 50 μm .

Distribusi Geografis dan Inang

Didiisolasikan dari sisa-sisa tanaman di tanah dan gandum serta sorgum di Italia, Afrika Selatan dan Australia.

Karakter di CLA.

Sporodokia berwarna putih sampai ke pucatan diproduksi di dalam miselium udara. Makrokonidia berdinding tebal, berdiameter dan mempunyai 5 septa dengan sel apikal melengkung dengan sel basal berbentuk kaki. Fusiform untuk sub-klavata mikrokonidia diproduksi berpasangan. False head terbentuk dari polyphialides. Klamidospora terbentuk cukup cepat secara berpasangan, rumpun atau rantai.

Karakter di PDA.

Miselium berlimpah dengan warna putih ke oranye pucat pada PDA dengan pigmen putih ke kuningan di agar.

Makrokonidia

Sporodokia: ditemukan di miselia udara dan berwarna putih hingga oranye pucat.

Morfologi umum: kuat, cukup besar, dan berdinding tebal.

Morfologi sel apikal: melengkung dan meruncing.

Morfologi sel basal: berbentuk kaki.

Jumlah septa: 3 - 7 septa.

Keberadaan: sering sulit ditemukan.

Mikrokonidia

Bentuk / septasi: mikrokonidia hialin dapat berupa fusi atau subklavata.

Biasanya tidak ada septa, tetapi bisa sampai 3 septa apabila ada.

Presentasi miselium aerial: pasangan atau false head, tetapi tidak pernah dalam rantai.

Sel koniogenogen: baik monofialida dan polifial dapat diamati.

Polyphialides cukup berbeda dan mungkin sangat kompleks.

Keberadaan: berlimpah di miselia udara.

Klamidospora

Keberadaan / Kecepatan pembentukan: terbentuk 2-4 minggu pada CLA dan relatif melimpah.

Lokasi: klamidospora mungkin terminal atau interkontinental baik di hifa atau terendam. Ditemukan secara tunggal, berpasangan, rumpun dan rantai.

Penampilan: hyaline menjadi coklat pucat dengan dinding halus atau kasar.

Taksonomi, Patologi, dan Ekologi

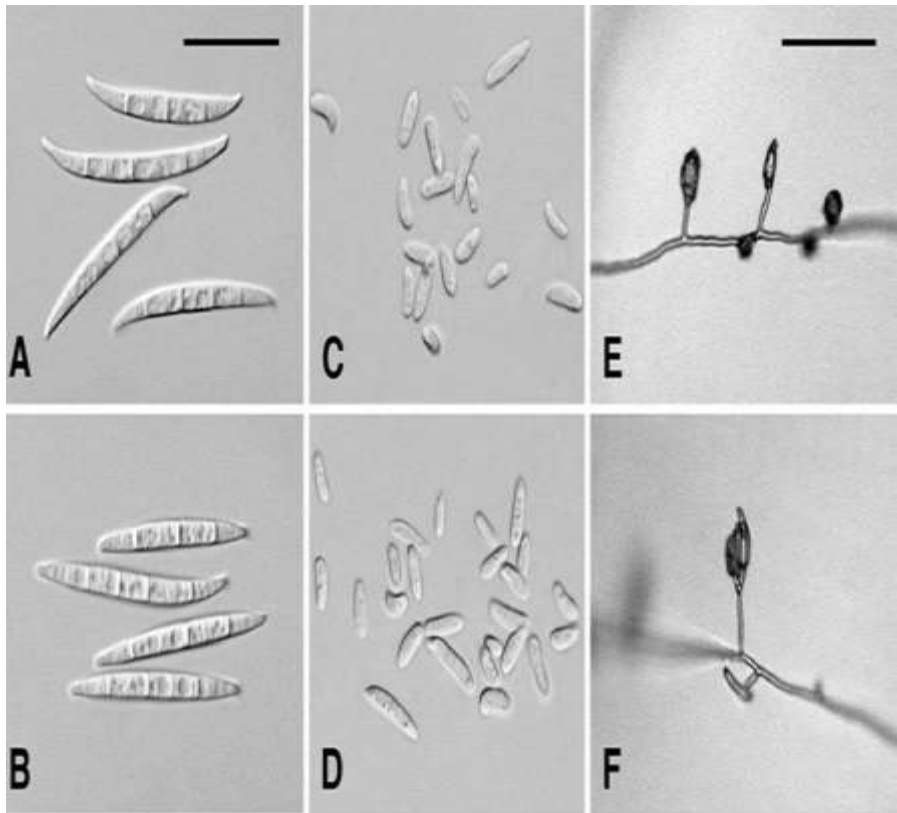
Identifikasi secara morfologi *Fusarium polyphialidicum* kemungkinan besar akan dibingungkan dengan *F. semitectum*, *F. subglutinans* dan spesies terkait, dan *F. chlamydosporum*. *Fusarium polyphialidicum* dapat dibedakan dari *F. semitectum* oleh pigmen coklat yang diproduksi di PDA oleh *F. semitectum* dan pigmen kuning putih ke kuningan yang dihasilkan oleh *F. polyphialidicum*.

Makroconidia dari *F. polyphialidicum* juga lebih panjang, lebih lebar dan lebih kuat dalam penampilan dibandingkan dengan *F. semektekum*. *Fusarium polyphialidicum* dapat dibedakan dari *F. subglutinans* dimana strain *F. subglutians* biasanya menghasilkan pigmen violet ketika dikulturkan pada PDA dan memiliki makrokonidia yang lebih kecil dan lebih menyempit daripada yang dihasilkan *F. polyphialidicum*. *Fusarium polyphialidicum* menghasilkan makrokonidia yang lebih lebar, lebih panjang dan memiliki dinding yang lebih tebal daripada makrokonidia yang dihasilkan oleh *F. chlamydosporum*.

Kisaran geografis dan inang dari *F. polyphialidicum* tidak terdefinisi dengan baik. *Fusarium polyphialidicum* telah ditemukan dari sisa-sisa tanaman dan tanah dari sejumlah lokasi di selatan dan barat Afrika, Italia, dan daerah kering dbagian tengah Australia. *Fusarium polyphialidicum* juga telah diisolasi dari biji sorgum berjamur dan bibit pinus. *Fusarium polyphialidicum* telah diuji untuk digunakan sebagai agen pengendali hayati bagi serangga. Laporan bahwa *F. polyphialidicum* dapat menghasilkan fumonosis belum terkonfirmasi.

5.5. *Fusarium oxysporum*

Fase seksual tidak diketahui



Gambar *Fusarium oxysporum*

A – B: Makrokonidia; C – D: Mikrokonidia ; E – F: Mikrokonidia in situ on CLA. A – D, scale bar = 25 μm ; E – F, scale bar = 50 μm .

Distribusi Geografis dan Inang

Terdistribusi secara kosmopolitan. Sebagai patogen layu vaskular yang penting pada banyak spesies tumbuhan di seluruh dunia dan sebagai saprofit pada tanah yang umum.

Media dan Ciri Ciri kunci

Karakter di CLA.

Makrokonidia terbentuk berwarna oranye pucat, biasanya berlimpah sporodokia. Ukuran makronidia dari pendek sampai panjang, berbentuk falcate hingga hampir lurus, berdinding tipis dan biasanya memiliki 3 septa. Sel apikal pendek dan sedikit terikat pada beberapa isolat. Sel basal berlekuk atau berbentuk kaki. Makrokonidia terbentuk dari monophialides pada cabang konidiofor di pada hifa. Mikrokonidia biasanya tidak mempunyai septa (0) septa, bisa berbentuk oval, elips atau berbentuk ginjal, dan terbentuk secara berlebihan pada false head pada monophialides yang pendek. Klamidospora terbentuk secara melimpah dalam hifa pada bagian permukaan, terutama pada klon saprofit dari tanah, dan pembentukannya lambat sekitar 4-6 minggu pada beberapa isolat.

Karakter di PDA.

Morfologi koloni pada PDA sangat bervariasi. Miselia mungkin floccose, jarang atau berlimpah dan berwarna dari putih ke ungu pucat. Makrokonidia berwarna kuning pucat atau ungu pucat diproduksi dalam massa spora pada beberapa isolat. Sclerotia yang berwarna coklat keputihan, biru kehitaman atau violet dapat diproduksi secara acak oleh beberapa isolat. *Fusarium oxysporum* biasanya menghasilkan warna ungu pucat ke gelap atau pigmen magenta gelap dalam agar akan tetapi beberapa isolat tidak menghasilkan pigmen sama sekali. Beberapa isolate *F. oxysporum* berwarna oranye ketika dibiakkan pada PDA.

Makrokonidia

Sporodokia: kebanyakan isolat menghasilkan sporodokia pucat yang melimpah namun pada beberapa isolat sporodochia mungkin jarang atau tidak ada.

Morfologi umum: ukuran pendek hingga panjang, berbentuk lurus ke sedikit melengkung, relatif ramping dan berdinding tipis.

Morfologi sel apikal: meruncing dan melengkung, kadang berbentuk seperti pengait.

Morfologi sel basal: berbentuk kaki dan kadang-kadang runcing

Jumlah septa: biasanya 3 septa.

Keberadaan: jarang pada beberapa strain, tetapi biasanya berlimpah pada sporodokia dan kadang-kadang dari hifa yang tumbuh di permukaan agar.

Mikrokonidia

Bentuk / septation: oval, elips atau berbentuk ginjal dan biasanya tidak memiliki septa.

Presentasi miselium aerial: bentuk kepala (false head).

Sel koniogenen: monophialides pendek.

Keberadaan: berlimpah di miselia udara.

Klamidospora

Keberadaan / Kecepatan pembentukan: terbentuk berlimpah dan cepat 2-4 minggu pada CLA pada kebanyakan isolat, tetapi beberapa isolat membentuk klamidospora secara perlahan.

Lokasi: biasanya dibentuk secara tunggal atau berpasangan, tetapi juga dapat ditemukan dalam kelompok atau pada rantai pendek.

Penampilan: mempunyai dinding yang halus atau kasar.

Taksonomi, Patologi, dan Ekologi

Fusarium oxysporum adalah spesies *Fusarium* yang tersebar luas dan dapat diisolasi dari sebagian besar tanah di bagian arctic , tropis, gurun baik tanah yang dibudidayakan ataupun tidak. *Fusarium oxysporum* juga dapat disebarkan oleh serangga dan diisolasi dari ganggang laut. *Fusarium oxysporum* juga merupakan spesies yang paling penting secara ekonomi pada genus *Fusarium* karena jumlah inangnya yang banyak dan tingkat kehilangan hasil yang dapat terjadi ketika spesies ini menginfeksi tanaman. Spesies *F. oxysporum* adalah salah satu dari sembilan spesies yang di deskripsikan oleh Snyder dan Hansen yang tetap digunakan secara umum. Namun *F. oxysporum* jelas heterogen dan terdiri dari setidaknya puluhan spesies yang perlu didefinisikan secara jelas dan dipisahkan sehingga dapat digunakan dengan tepat. Penyebarannya maupun kepentingan ekonomi telah menjadikan spesies *Fusarium* di jadikan objek penelitian ilmiah yang paling banyak dilakukan oleh peneliti. Kurang lebih 6000 artikel yang tersedia berhubungan dengan spesies ini.

Morfologi.

Karakter kunci *F. oxysporum* adalah mikrokonidia berbentuk false head pendek pada phialides yang terbentuk pada hifa, menghasilkan klamidospora, serta bentuk makrokonidia dan mikrokonidia. Jumlah

dan morfologi makro dan mikrokonidia yang terbentuk dapat secara drastis dipengaruhi oleh mutasi gen tunggal. Isolat *F. oxysporum* paling sulit dibedakan dari *F. solani* dan *F. subglutinans*. *Fusarium solani* membentuk mikrokonidia pada false head pada monofialida yang sangat panjang yang terbentuk pada hifa. *Fusarium subglutinans* dibedakan dari *F. oxysporum* oleh pembentukan mikrokonidia dari polyphialides dan tidak adanya klamidospora. Akan tetapi, polyphialides sulit ditemukan pada beberapa isolat *F. subglutinans*, dan klamidospora dapat dibentuk secara perlahan oleh beberapa isolat *F. Oxysporum*. Jadi pengamatan yang cermat dan sabar mungkin diperlukan untuk membedakan spesies ini secara morfologis. Strain *F. oxysporum* yang membawa dsRNA memiliki fenotipe morfologi yang normal dan tidak memberikan hipovirulensi pada strain yang terinfeksi. Pertumbuhan linear maksimum dilaporkan terjadi pada 25 ° C pada tekanan potensi osmotik -1.0 MPa .

Fusarium oxysporum bersifat patogen terhadap tanaman dan sering menyebabkan penyakit layu vaskular, “damping-off” , busuk mahkota dan busuk akar.

Strain yang awalnya diisolasi sebagai patogen pada tomat juga dapat menyebabkan infeksi diseminata pada tikus immunodepressed. Penyakit layu vaskular tanaman sering terjadi karena pembuluh xilem diblokir, sehingga terjadi penyumbatan setidaknya beberapa kasus disebabkan adanya gula yang ditemukan di dinding sel tanaman inang. Direkomendasikan langkah-langkah untuk mengurangi penyakit yang disebabkan oleh *F. oxysporum* antara lain menanam tanaman inang yang tahan dan metode pengendalian hayati dan

kimiawi. Strain patogen tanaman yang penting secara ekonomis dapat ditemukan kembali dari tanaman non-inang. *Fusarium oxysporum* dapat tersebar dengan berbagai cara termasuk melalui angin, tanah, biji, atau tanaman yang terinfeksi.

Inang spesifik dan forma speciales.

Banyak isolat *F. oxysporum* memiliki inang yang spesifik, yang telah menghasilkan pembagian spesies menjadi spesies khusus dan ras yang mencerminkan spesialisasi patogen tanaman. Lebih dari 100 formae speciales dan ras *F. oxysporum* telah dijelaskan. Formae speciales dan ras *F. oxysporum* dipelajari dengan beberapa karakter molekuler, misalnya, isozim, probe sidik jari DNA, DNA reassociation kinetics, polimorfisme DNA mitokondria, tetapi secara umum mereka tidak monophyletic dan harus digunakan hanya sebagai karakterisasi fenotipik dan bukan sebagai indikasi dari keterkaitan genetik atau evolusi.

Perbedaan patogenisitas dapat timbul dalam VCG yang sama atau strain genetis yang sangat erat hubungannya, dan kemampuan patogenik yang sama atau sangat serupa dapat berkembang walaupun latar belakang genetik yang jelas berbeda. Beberapa isolat patogen jelas terkait dengan jamur yang berasosiasi dengan bunga yang asli dari daerah tertentu. Oleh karena itu evolusi konvergen ini dapat menghasilkan seleksi independen dan berulang untuk patogenisitas dimana dihipotesiskan di mana satu mutasi (s) yang bertanggung jawab untuk patogenisitas terjadi hanya sekali dan kemudian ditransmisikan sebagai sifat yang homolog. Studi fisiologis dari

interaksi inang dan patogen yang melibatkan *F. oxysporum* menunjukkan bahwa ada beberapa mekanisme yang berbeda mungkin. Beberapa strain *F. oxysporum* bersifat patogen terhadap *Arabidopsis* dan beberapa protein dan molekul lain yang terlibat dalam interaksi patogen dan inang ini telah diidentifikasi. Aktivitas MAP kinase sangat penting untuk beberapa strain menjadi patogen. Asam fusarat juga telah terlibat sebagai penentu parsial patogenisitas dalam pembusukan pada *Gladiolus spp.*

Perbedaan genetik yang kecil memisahkan strain patogenik dan non-patogenik, tetapi perbedaan ini mungkin sulit diidentifikasi karena kurangnya siklus seksual fungsional dan analisis genetik. Beberapa mutan yang diinduksi dapat mengubah patogenisitas, tetapi secara umum mutan tersebut belum dicirikan secara rinci.

Ada banyak penelitian yang melibatkan analisis mikroskopik dari interaksi antara strain *F. oxysporum* dengan tanaman inang maupun non-inang. Pada kapas, *F. oxysporum* dapat menembus dan tumbuh di dalam ujung akar tanpa menyebabkan kerusakan, degenerasi sel atau nekrosis pada tanaman inang. Akar tomat dapat mengubah pertumbuhan dan pola percabangan miselia *F. oxysporum* yang berkembang di dekat akar. Penggunaan penanda yang memungkinkan mudah untuk divisualisasi dan dikuantifikasi strain jamur dalam jaringan inang dan penggunaan protein fluorescent akan meningkatkan pemahaman kita tentang interaksi inang dan patogen. Zat pewarna fluorokrom juga dapat digunakan untuk mengetahui tahap awal infeksi, karena pewarna dapat digabungkan ke dalam konidia sebelum perkecambahan hifa dan diamati secara mikroskopis.

Jenis tanaman sereal dan rumput umumnya tidak dipengaruhi oleh *F. oxysporum* meskipun mereka mungkin terinfeksi. *Fusarium oxysporum* pada tahapan sebagai saprophytic umumnya menjajah akar nekrotik, sebagai penyerbu sekunder tetapi setelah diisolasi dan bisa diidentifikasi kemudian dinyatakan sebagai pathogen penyebab nekrosis. Untuk itu isolates *F. oxysporum* perlu diuji secara benar patogenisitas sebelum kesimpulan diambil tentang peran mereka dalam suatu penyakit.

Pengendalian Hayati

Isolat *F. oxysporum* sering digunakan dalam program pengendalian hayati. Dalam beberapa kasus, strain *F. oxysporum* adalah mycoparasites atau merupakan parasit dari gulma atau tanaman lainnya. Strain *F. oxysporum* yang dapat digunakan patogen terhadap gulma telah dikonstruksi setelah transformasi dengan gen yang menghasilkan hormon tanaman. Ada juga laporan bahwa *F. oxysporum* mungkin bersifat patogen terhadap beberapa serangga dan penyusut.

Dalam kasus lain, tampaknya strain non-patogenik merupakan komponen penting untuk tanah dimana penyakit berkurang secara signifikan atau benar-benar hilang, mungkin lewat induksi resistensi sistemik. Mutan non patogenik dari strain patogenik yang diketahui juga telah terbukti efektif dalam mengendalikan penyakit pada tanaman cucurbita. Persaingan nutrisi dan ruang antara strain patogenik dan strain untuk pengendalian hayati mungkin merupakan faktor penting dalam menentukan keberhasilan pengendalian hayati.

Heterogenitas dalam *F. oxysporum* membuat sulit untuk menafsirkan spesies ini. Beberapa strain awalnya diidentifikasi sebagai *F. oxysporum* tetapi ternyata saat ini sudah dikategorikan spesies lain. Untuk itu diperlukan peningkatan teknik identifikasi agar supaya batas-batas spesies menjadi lebih jelas. Secara ekonomi dan fisiologis efisiensi untuk produksi dan penyebaran inokulum bagi pengendalian hayati sulit untuk dikalkulasi. Sebagai contoh penggunaan rumah kaca bisa berhasil disatu tempat tetapi tidak berhasil ditempat lain misalnya dilapangan.

Kelompok Kompatibilitas Vegetatif (VCGs).

Sejumlah penelitian telah dibuat berdasarkan kompatibilitas vegetatif dan kelompok kompatibilitas vegetatif dan keterkaitan antar kelompok kompatibilitas (VCGs) pada *F. oxysporum*. Isolat dalam VCG yang sama dapat membentuk heterokaryon yang stabil, sementara strain dalam VCG berbeda membentuk heterokaryon yang tidak seimbang dan atau sementara. Beberapa penelitian dari heterokaryosis yang mendahului studi genetik VCG di *Fusarium* dimulai pada pertengahan 1980. Perbedaan dalam VCG dapat diatasi dengan menggunakan fusi protoplas dan penanda yang dapat dipilih secara ketat .

Jika dua strain memiliki VCG yang sama itu bukan jaminan memiliki kesamaan genetik, karena strain dalam VCG yang sama dapat membawa molekul DNA mitokondria yang sama atau berbeda. Satu pola restriksi mitokondria DNA juga bisa dikaitkan dengan strain yang termasuk memiliki VCG ganda. Karakter pertumbuhan dan pola

penggunaan sumber karbon dalam VCG bervariasi setidaknya antara VCGs. Dalam beberapa kasus, protokol molekuler diagnostik telah dikembangkan untuk mengidentifikasi VCG yang bersifat patogenik . Isolate *F. oxysporum* yang mempunyai VCG tunggal biasanya diberi nomor yang berkorelasi dengan forma specialis yang terkait. Anggota dengan forma spesiales yang sama dapat berada dalam satu atau beberapa VCG, misalnya, *Fusarium oxysporum adzukicola*, *Fusarium oxysporum albedinis*, *Fusarium oxysporum amaranthi*, *Fusarium oxysporum basilicum* / *basilici*, *Fusarium oxysporum canariensis*, *Fusarium oxysporum cubense*, *Fusarium oxysporum cucumerinum*, *Fusarium oxysporum cyclaminis*, *Fusarium oxysporum dianthi*, *Fusarium oxysporum erythroxyli*, *Fusarium oxysporum gladioli*, *Fusarium oxysporum lactucae*, *Fusarium oxysporum lentis*, *Fusarium oxysporum lilii*, *Fusarium oxysporum lycopersici*, *Fusarium oxysporum melonis*, *Fusarium oxysporum niveum*, *Fusarium oxysporum pisi*, *Fusarium oxysporum radices-cucumerinum*, *Fusarium oxysporum radices-lycopersici*, *Fusarium oxysporum spinaciae*, *Fusarium tuberosi*, *Fusarium tulipae* dan *Fusarium oxysporum vasinfectum*. Yang termasuk dalam lebih dari satu VCG misalnya, *Fusarium oxysporum asparagi*, *Fusarium oxysporum betae*, *Fusarium oxysporum cepae*, *Fusarium oxysporum cucumerinum*, *Fusarium oxysporum lini*, *Fusarium oxysporum lycopersici*, *Fusarium oxysporum phaseoli* atau *Fusarium oxysporum pisi*.

Jumlah VCG yang diidentifikasi mungkin tergantung pada sampel populasi, dan hasil yang dipublikasikan harus dipastikan sebelum

survei diagnostik yang lebih besar dari populasi tersebut dilakukan. Ketika jumlah VCG dalam formae specialis terbatas, maka pengelompokan VCG dapat secara potensial digunakan untuk mengidentifikasi strain patogen tanpa melakukan tes patogenisitas tumbuhan. Namun, ada contoh strain patogen dan non-patogen yang termasuk dalam VCG yang sama. Dalam studi *F. oxysporum* dari spesies anyelir liar, strain *F. oxysporum* yang ditemukan berada di banyak group VCG dan tidak patogen terhadap anyelir yang dibudidayakan, sehingga strain jamur ini lebih mirip dengan yang diisolasi dari tanah dibandingkan dengan dari anyelir yang dibudidayakan. Strain yang diisolasi dari tanah dan anggrek biasanya cukup beragam dan masuk dalam beberapa beberapa kelompok VCG

The nit mutan yang dihasilkan untuk digunakan pada studi VCGs umumnya mempertahankan patogenisitas mereka pada keadaan kondisi dilapangan, sehingga dapat digunakan dalam penelitian selanjutnya. Mutan dan transformator auxotrophic lainnya tampaknya dapat digunakan dengan cara yang serupa.

Fisiologi dan biokimia.

Penelitian tentang proses biokimia pada *F. oxysporum* berfokus pada enzim yang bisa mendegradasi dinding sel antara lain cellulase, glucanase, glucosidase, pectinase, polygalacturonidase dan xylanase. Beberapa enzim ini digunakan oleh jamur ini untuk menjadi penyebab penyakit pada inangnya. Enzim lain yang dipelajari pada jamur ini termasuk asetil esterase, α -L-fucosidase, α -amilase, α -L-

arabinofuranosidase, β -galactosidase, calmodulin, katalase, kitinase, cytochrome P450s, D-amino acid oxidase, fer- uloyl esterase, fructosyl lysine oxidase, fructosyl transferase, hydroxymethyl- glutaryl co-enzyme A reduktase, inulinase, di-vertase, laktonohidrolase, lipase, lipoxygenase, nitratoksida reduktase, nitroalkane oksidase, pantotenat sintetase, pectate lyase, protease, sterol ester hydrolase, trehalase, dan xylitol dehidrogenase.

Berbagai strain *F. oxysporum* dapat memetabolisme dan katabolisme berbagai jenis gula dan berbagai senyawa lainnya termasuk senyawa aromatik , butyl benzyl phthalate, gliserol, nitril, penicillin V, natrium monofluoroasetat, dan xilosa. *Fusarium oxysporum* juga dapat melalui pengurangan kandungan besi dari serat asbes. Selain itu *F. oxysporum* dapat berfungsi sebagai model untuk mendegradasi protriptyline, yang digunakan secara ekstensif sebagai antidepresan. Strain *F. oxysporum* juga dapat digunakan untuk melarutkan lignit dan batubara, serta memiliki kemampuan ligninolitik.

Protein heat shock telah diidentifikasi dari strain *F. oxysporum* karena memiliki stress respon dari mRNA. Ditemukan adanya perbedaan aktivitas dismutase superoksida dalam hifa vegetatif dan klamidospora pada jamur ini, meskipun peran enzim ini dalam proses diferensiasi masih belum diketahui.

Biokimia dari interaksi pathogen dan inang telah dievaluasi terutama dalam hal reaksi tanaman terhadap infeksi jamur. Dilaporkan bahwa strain *F. oxysporum* dapat mendegradasi berbagai senyawa anti jamur yang disintesis oleh beberapa tanaman inang. *Fusarium oxysporum* dan *F. solani* dapat menurunkan α -tomatine, phytoalexin yang

disintesis oleh tomat, tetapi antibodi poliklonal yang mengenali enzim dari *F. oxysporum* tidak mengenali enzim pada *F. solani*. Aktivitas kitin sintase juga diperlukan untuk ekspresi penuh dari beberapa fenotipe patogen. Sinyal yang ditransmisikan oleh protein G diantara *F. oxysporum* merupakan bagian penting dari proses patogenik. Kemampuan beberapa strain *F. oxysporum* untuk mensintesis ethylene dan beberapa peptida kecil memiliki implikasi penting dalam interaksi patogen dan inang.

Beberapa strain *F. oxysporum* relatif tidak sensitif terhadap sianida dan memiliki enzim seperti hidratase sianida, juga disebut hidrolase formamida, yang digunakan dalam proses degradasi. Strain ini juga memiliki alternatif tidak sensitif terhadap sianida terhadap rantai pernafasan sitokrom untuk penyerapan O₂ yang akan digunakan ketika meningkatnya sianida. Setidaknya terdapat dua mitokondria sistem denitrifikasi yang dapat berfungsi sebagai alternatif untuk respirasi oksidatif untuk menghasilkan ATP yang diperlukan untuk mempertahankan tegangan yang tumbuh di bawah kondisi sianida yang tinggi. Proses ini di *F. oxysporum* terjadi di bawah kondisi mikroaerobik daripada di bawah kondisi anaerobiosis yang ketat.

Secara komersial, *F. oxysporum* digunakan untuk memisahkan stereoisomer sintesis dari pantoyl lactone. *Fusarium oxysporum* juga digunakan untuk menghasilkan endoglukanase termostabil dan β -glukosidase dengan optimalisasi suhu tinggi. Enzim filosofase yang diproduksi oleh *F. oxysporum* tersedia secara komersial dengan nama dagang Lecitase dan digunakan dalam penyulingan minyak nabati. Selain itu, *F. oxysporum* digunakan untuk mengurangi kandungan

fenol dari residu minyak zaitun kering untuk digunakan sebagai pupuk organik. Kemampuan *F. oxysporum* untuk mengubah gula pentose menjadi etanol juga telah dievaluasi secara komersial. Proses fermentasi cair menggunakan *F. oxysporum* dalam proses hidrolisa kayu menjadi etanol. Proses fermentasi sorgum dan jerami menggunakan *F. oxysporum* menghasilkan etanol. Fermentasi ini tidak sangat sensitif terhadap tingkat selobiohidrolase atau karboksimetilselulase, tetapi cukup sensitif terhadap tingkat β -glukosidase.

Genetika dan biologi molekuler.

Penelitian tentang genetik dari *F. oxysporum* agak terbatas. Hal ini mungkin karena belum diketahuinya fase seksual pada jamur ini. Meskipun gen tipe kawin fungsional telah diidentifikasi pada beberapa isolat. Tidak ada peta genetika berbasis meiosis yang tersedia untuk *F. oxysporum*, tetapi tersedia peta mitosis berdasarkan pola segregasi parasexual berdasarkan AFLPs yang terkait dengan transposable. Rekombinasi parak seksual dan reassortment dapat menghasilkan pengaturan ulang kromosom jika terbentuk heterokaryon, peristiwa parasexual terjadi, akibat dari fusi protoplas. Tidak ada urutan genom yang tersedia untuk organisme ini, meskipun ada beberapa peta mitokondria dan urutan yang tersedia. Proposal urutan genom strain *F. oxysporum* telah diajukan. Urutan ini mungkin akan mengandung sejumlah DNA berulang yang signifikan.

Protokol transformasi untuk jamur ini telah dikembangkan, termasuk satu untuk replikasi linear plasmid. Mekanisme regulasi gen secara

umum serupa untuk *F. oxysporum*. Begitu juga pada model jamur berfilamen seperti *Neurospora crassa* dan *Aspergillus nidulans*. Protokol untuk membuat dan meregenerasi protoplas juga sudah ada. Beberapa transforman berhasil dan hasilnya cukup stabil sehingga dapat dilepaskan dan diambil kembali dalam studi pengendalian hayati tanpa perubahan mencolok pada sekuens DNA asing dimana gen untuk spesifikasi inang berasosiasi dengan inti dan bukan DNA mitokondria. Metilasi DNA berasosiasi dengan hilangnya patogenitas dari jamur ini ketika beberapa strain dipertahankan dalam jangka panjang di bawah kondisi laboratorium.

Jumlah kromosom, jamur ini berkisar dari 5 hingga 14 dan ukuran genom berkisar 16-59 Mb. Ukuran ini konstan dalam semua strain *F. Oxysporum*. Jumlah kromosom pada strain yang memiliki VCG yang sama biasanya sama.

Plasmid mirip DNA, retrotranspons, dan elemen genetik lainnya diketahui terdapat pada strain *F. oxysporum*. Ada bukti terjadi transfer horizontal antar spesies dalam genus *Fusarium* dari beberapa elemen genetik ini. Beberapa dari element genetik ini dapat berpindah ke jamur lain setelah mereka didiintroduksi.

Distribusi unsur-unsur transposabel dalam genom *F. oxysporum* tidak acak. Namun rekombinasi antara elemen homolog dan kromosom non-homolog dapat menjelaskan adanya variasi kariotipe yang tampak pada jamur ini. Dalam *F. oxysporum*, pergerakan unsur-unsur transposable dapat mengakibatkan mutasi pada gen yang penting untuk patogenisitas atau perubahan dalam pola ekspresi. Hal ini belum bisa terjadi ketika metode konvensional digunakan. Tidak ada

fenotipe yang dikaitkan dengan elemen genetic DNA seperti plasmid. Beberapa dari plasmid ini mirip dengan plasmid mitokondria dari jamur lain. Dalam beberapa kasus, strain *F. oxysporum* yang ditumbuhkan di media yang mengandung klorat, seperti yang dilakukan untuk menghasilkan nit mutan dalam analisis VCG, dapat menghasilkan gerakan retrotransposons dalam genom *F. oxysporum*. Mutan yang dihasilkan oleh γ -iradiasi dapat mengalami penyusunan ulang kromosom dan menimbulkan beberapa perubahan yang dikaitkan dengan perbedaan dalam beberapa urutan DNA. Berbagai sekuens DNA *F. oxysporum* telah digunakan untuk mengevaluasi keragaman genetik. Beberapa dari sekuens yang dievaluasi termasuk probe sidik jari DNA, mikrosatelit, DNA mitokondria, multiple copy repeat sequences, ribosomal sekuens spacer IGS, sekuens ribosomal ITS, dan sekuens DNA salinan tunggal. Dari hasil-hasil penelitian tentang sekuens DNA pada strain *F. oxysporum* hasilnya adalah polimorfik.

Infeksi Pada Manusia.

Fusarium oxysporum telah dikaitkan dengan berbagai infeksi pada manusia termasuk infeksi pada kornea dan berbagai jenis dermatitis luka bakar, dan sistemik infeksi internal. *Fusarium oxysporum* telah ditemukan mencemari sistem air rumah sakit, dan pasokan air di rumah sakit bisa berfungsi sebagai reservoir untuk infeksi berulang selama beberapa tahun. Jamur ini juga ditemukan pada pasien melalui kateter yang terkontaminasi. Jamur ini dapat menimbulkan masalah serius bagi beberapa pasien HIV atau yang menerima

transplantasi organ. *Fusarium oxysporum* tidak bersifat patogen dalam uji eksperimental dengan tikus imunokompeten. Amphotericin B, hamycin, dan amfoterisin B plus 5-fluorocytosine adalah antimycotics yang paling efektif terhadap infeksi yang disebabkan oleh *F. oxysporum*. Kombinasi terbinafine dan amphotericin B efektif digunakan pada pasien immunocompromised. Strain *F. oxysporum* resisten terhadap flukonazol dan 5- fluorocytosine. Rapamycin, nanoemulsi dan pentamidene juga telah dianjurkan untuk digunakan melawan infeksi dari *F. oxysporum* walaupun belum disebar luaskan. Fenpropimorph dilaporkan menghambat biosintesis ergosterol pada *F. oxysporum* . Senyawa anti jamur yang menghambat pertumbuhan vegetatif tidak selalu efektif menghambat perkecambahan spora. Perbedaan penghambatan diferensial dapat mempengaruhi pilihan senyawa antijamur yang akan digunakan untuk mengobati infeksi oleh jamur.

Racun.

Strain *F. oxysporum* umumnya dipandang sebagai non-toksigenik, meskipun mereka sering dapat mensintesis berbagai metabolit sekunder dimana fungsi dan toksisitas dari senyawa ini tidak diketahui. Beberapa strain *F. oxysporum* telah dikaitkan dengan toksisitas pada ubi jalar dari ternak, yang menghasilkan penyakit paru yang berat dan yang mungkin juga disebabkan oleh *F. solani*, dan juga penyakit tibial dyschondroplasia pada ayam. Ada laporan dari beberapa strain *F. oxysporum* yang dapat menghasilkan zearalenone dan mikotoksin trichothecene. Tetapi kebanyakan dari

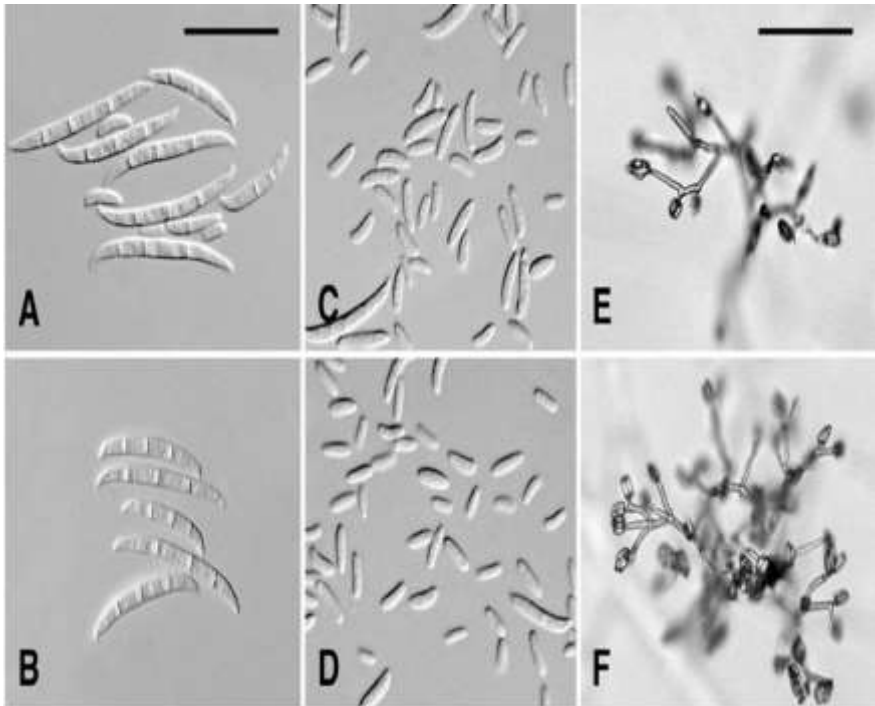
strain *F. oxysporum* tidak menghasilkan salah satu dari jenis toksin ini karena kekurangan gen *tri5* yang diperlukan untuk biosintesis trichothecene. Beberapa strain *F. oxysporum* membawa gen yang mengkode gen trichothecene 3-O-acetyltransferase fungsional, yang dapat digunakan sebagai pertahanan terhadap trichothecene mycotoxins.

Fusarium oxysporum juga telah dilaporkan menghasilkan beauvericin, bikaverin, enniatins, asam fusarat, fusarin C, isoverrucarol, moniliformin, pigmen naphthoquinone, sambutoxin dan wortmannin. Beberapa strain *F. oxysporum* dapat menghasilkan fumonisins dan senyawa terkait dan diketahui membawa gen gen biosintetik FUM.

5.6. *Fusarium subglutinans*

Fase seksual *Gibberella subglutinans*

Nama umum yang sama : *Fusarium moniliforme* var. *subglutinans*,
Fusarium sacchari var. *subglutinans*; *Gibberella fujikuroi* Mating
Population E.



Gambar *Fusarium subglutinans*

A – B: Makrokonidia; C – D: Mikrokonidia ; E – F: Mikrokonidia in situ on CLA. A – D, scale bar = 25 μm ; E – H, scale bar = 50 μm .

Distribusi Geografi dan Inang:

Patogen pada jagung dan ditemukan di daerah daerah yang agak dingin dimana jagung dibudidayakan.

Media dan Ciri-ciri Utama

Karakter di CLA untuk makrokonidia jarang terbentuk. Jika ada mirip dengan ciri khas yang ditemukan di kompleks spesies *G. fujikuroi*. Mikrokonidia diproduksi dalam bentuk false head dari mono dan polyphialides dan berbentuk oval dan tidak ada septa. Mikrokonidia fusiform yang lebih panjang, memiliki 2 hingga 3 septa bisa diamati dan tampak sebagai transisi ke makrokonidia. Klamidospora tidak ada. Karakter di PDA dapat diamati pertumbuhan miselium yang berlimpah awalnya putih tetapi menjadi ungu seiring dengan bertambahnya umur dari kultur yang diamati. Pigmentasi di agar berkisar dari tidak berwarna hingga ungu gelap yang hampir hitam, dimana sebagian besar kultur menghasilkan beberapa warna pigmen ungu. Blue-black sclerotia dapat berkembang di beberapa isolat.

Makrokonidia

Sporodokia: berwarna oranye, ditemukan pada potongan daun anyelir dan dalam agar CLA dan kadang-kadang di permukaan PDA.

Morfologi umum: relatif ramping, berdinding tipis. Ini merupakan ciri khas dari yang dihasilkan oleh spesies di kompleks spesies *Gibberella fujikuroi*.

Morfologi sel apikal: melengkung.

Morfologi sel basal: relatif kurang berkembang.

Jumlah septa: biasanya 3 septa.

Keberadaan: biasanya berlimpah.

Mikrokonidia

Bentuk / septasi: oval dan tidak ada septa.

Presentasi miselium aerial: dalam bentuk false head. Spora berada di false head oleh karena adanya cairan seperti lendir.

Sel koniogen: mono dan polifialade, polifiliada dapat berkembang biak secara luas.

Keberadaan: berlimpah di miselia udara.

Klamidospora. Tidak ada.

Taksonomi, Patologi, dan Ekologi

Fusarium subglutinans pertama kali diakui sebagai spesies terpisah oleh Nelson dkk. Kadang-kadang teleomorph, *G. subglutinans*, akan terbentuk pada residu tanaman jagung .

Fusarium subglutinans relatif mudah dipisahkan dari spesies utama lainnya di kompleks spesies *G. fujikuroi*. *Fusarium subglutinans* menghasilkan mikrokonidia hanya di false head, yang membedakannya dari *F. proliferatum* dan *F. verticillioides*, yang keduanya menghasilkan mikrokonidia dalam bentuk rantai. Hasil penelitian menunjukkan sebuah mutan dari *F. subglutinans* menghasilkan sel mikrokonidia dalam bentuk rantai pendek sebagai pengganti bentuk false head. Adanya polifiliade berfungsi untuk membedakan spesies ini dari *F. verticillioides*. Kurangnya produksi klamidospora oleh *F. subglutinans* adalah karakter morfologi utama yang membedakannya dari *F. oxysporum*. Pertumbuhan linear

maksimum terjadi pada suhu 25 ° C dan tekanan potensi osmotik -1.0 MPa.

Sejumlah spesies yang secara morfologis mirip dengan *F. subglutinans* telah dijelaskan, termasuk *F. bulbicola*, *F. circinatum*, *F. guttiforme*, *F. mangiferae*, *F. pseudocircinatum*, *F. sacchari* dan *F. sterilihyphosum*. Banyak dari spesies ini cukup sulit untuk dibedakan satu sama lain atau dari *F. subglutinans* kecuali digunakan identifikasi penanda molekuler atau persilangan secara seksual. Spesies yang akan ditambahkan dalam kelompok ini mungkin masih harus diidentifikasi secara cermat sebelum ditambahkan. Luasnya inang dan distribusi geografis dari spesies ini memungkinkan adanya penggunaan nama tunggal untuk sejumlah spesies yang sebenarnya berbeda.

Fusarium subglutinans lebih umum di daerah-daerah yang lebih dingin di mana jagung ditanam dan diasosiasikan dengan busuk batang dan tongkol jagung. *Fusarium subglutinans* dapat ditularkan melalui benih. *Fusarium subglutinans* dapat bertahan di puing-puing jagung baik di permukaan tanah atau terkubur di dalam tanah selama setidaknya 21 bulan. *Fusarium subglutinans* yang berbeda secara genetik dapat diisolasi dari tunggal jagung. "BT" jagung hibrida yang kurang rentan terhadap penggerek jagung Eropa *Ostrinia nubilalis*, memiliki tingkat infeksi yang lebih rendah dibandingkan dengan *F. subglutinans* yang diisolasi dari jagung hibrida yang dihasilkan tanpa melalui transgenik.

Fusarium subglutinans juga telah ditemukan pada rumput di padang rumput asli Amerika Utara. Inang lain untuk *F. subglutinans*

termasuk ba-nana, cowpea , millet , anggrek, cabai, sorgum dan kedelai. Isolat “*Fusarium subglutinans*” yang diisolasi dari tebu kemungkinan adalah *Fusarium sacchari*.

Enzim yang dihasilkan oleh *F. subglutinans* termasuk kitinase , galaktosa oksidase dan enzim pembekuan-susu. *Fusarium subglutinans* dapat mendegradasi antrasena, juga dapat mendegradasi antimikroba benzoxazinoids a 6-metoksi-2-benzoxazolinone dan 2-benzoxazolinone yang diproduksi oleh jagung. Kemampuan ini mungkin salah satu alasan mengapa jamur ini adalah patogen pada jagung yang sukses.

Ada laporan fragmen DNA yang spesifik untuk *F. subglutinans*. Namun karena beberapa penelitian tentang fragmen DNA yang spesifik hanya didasarkan pada penggunaan set strain yang relatif kecil sehingga belum diterima untuk digunakan dalam skala luas. *Fusarium subglutinans* dapat menyebabkan radang mata end ophthalmitis dan tahan terhadap sebagian besar antifungi klinis. Namun demikian amfoterisin B dilaporkan sebagai yang paling efektif untuk digunakan sebagai antifungi untuk jamur ini.

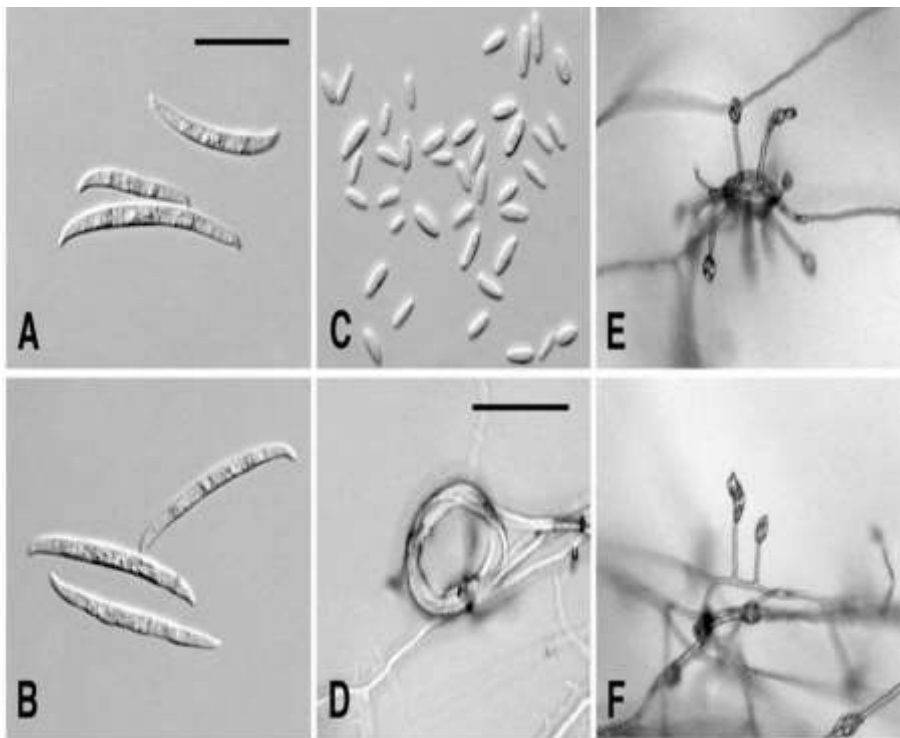
Pakan yang terkontaminasi dengan *F. subglutinans* adalah racun bagi tikus, meskipun agen penyebab toksisitas tidak teridentifikasi. Kultur *F. subglutinans* sering beracun bagi bebek karena banyaknya moniliformin yang dapat diproduksi oleh jamur ini. Satu strain, MRC 115, diketahui menghasilkan hingga 11,3 mg / g moniliformin dalam kultur murni dan itik yang terkontaminasi dengan strain ini mati dalam 90-140 menit setelah mengkonsumsi beberapa umpan yang

terkontaminasi. Dua isolat "*F. subglutinans*" dilaporkan sebagai dermatotoxic untuk kelinci mungkin adalah *F. bulbicola*.

Fusarium subglutinans hanya menghasilkan sedikit fumonisins bahkan mungkin tidak sama sekali, tetapi *Fusarium subglutinans* dapat menghasilkan moniliformin, beauvericin, asam fusarat, dan proliferin dalam konsentrasi yang tinggi. Suhu dan media pertumbuhan berpengaruh terhadap jumlah mikotoksin yang dihasilkan

5.7. *Fusarium pseudocircinatum*

Fase seksual tidak diketahui.



Gambar. *Fusarium pseudocircinatum*.

A – B: Makrokonidia; C: Mikrokonidia; D: Coiled hifa; E – F: Mikrokonidia in situ on CLA. A – D, scale bar = 25 μm ; E – F, scale bar = 50 μm .

Distribusi Geografik dan Inang

Berbagai substrat dari daerah tropis seperti Ghana, Papua New Guinea, Panama and the Philippines.

Media dan Ciri-Ciri Kunci

Karakter di CLA. Sporodokia jarang terlihat mengakibatkan jarang terjadi pembentukan makrokonidia. Apabila makrokonidia terbentuk maka bentuknya agak tidak rata. Mikrokonidia diproduksi berlimpah dari monophialides di miselium udara dalam bentuk false head dan rantai pendek. Dihasilkan hifa steril melingkar yang merupakan karakter yang sangat penting. Klamidospora tidak ada.

Karakter di PDA.

Terlihat miselium berbulu putih. Menghasilkan pigmen oranye ke violet di agar terutama di pusat dari kultur yang diamati .

Makrokonidia

Sporodokia: jarang dan sulit ditemukan. Kultur mungkin perlu diinkubasi hingga dua minggu di bawah cahaya hitam sebelum terbentuk sporodokia pada permukaan agar.

Morfologi umum: ramping dan berdinding tipis yang merupakan ciri khas dari yang dihasilkan oleh spesies di kompleks spesies *Gibellaella fujikuroi*.

Morfologi sel apikal: berbentuk paruh.

Morfologi sel basal: berbentuk kaki.

Jumlah septa: sebagian besar memiliki 3 septa.

Keberadaan: berlimpah dalam sporodokia, tetapi jarang, bisa tidak ada sama sekali, ketika sporodokia tidak ada.

Mikrokonidia

Bentuk / septasi: oval ke obovoid dengan jumlah septa 0-1 tetapi biasanya tidak ada septa.

Presentasi miselium aerial: dalam bentuk false head dan rantai pendek <10 spora.

Sel-sel konidogen: biasanya monophialides, tetapi kadang-kadang polyphialides.

Keberadaan: berlimpah di miselia udara.

Klamidospora. tidak ada.

Fitur lainnya. hifa melingkar dan steril adalah diagnostik untuk spesies ini. Dapat ditemukan dengan mudah pada media SNA, tetapi produksi hifa pada CLA dapat bervariasi. Jumlah hifa melingkar dan tingkat penggulangan biasanya lebih tinggi pada media SNA .

Taksonomi, Patologi, dan Ekologi

Spesies ini digambarkan oleh Nirenberg & O'Donnell dari kultur yang diterima oleh mereka dengan berbagai nama untuk spesies. Secara morfologis, spesies ini memiliki kesamaan dengan *F. circinatum* dan *F. sterilihyphosum* karena ketiga spesies ini adalah

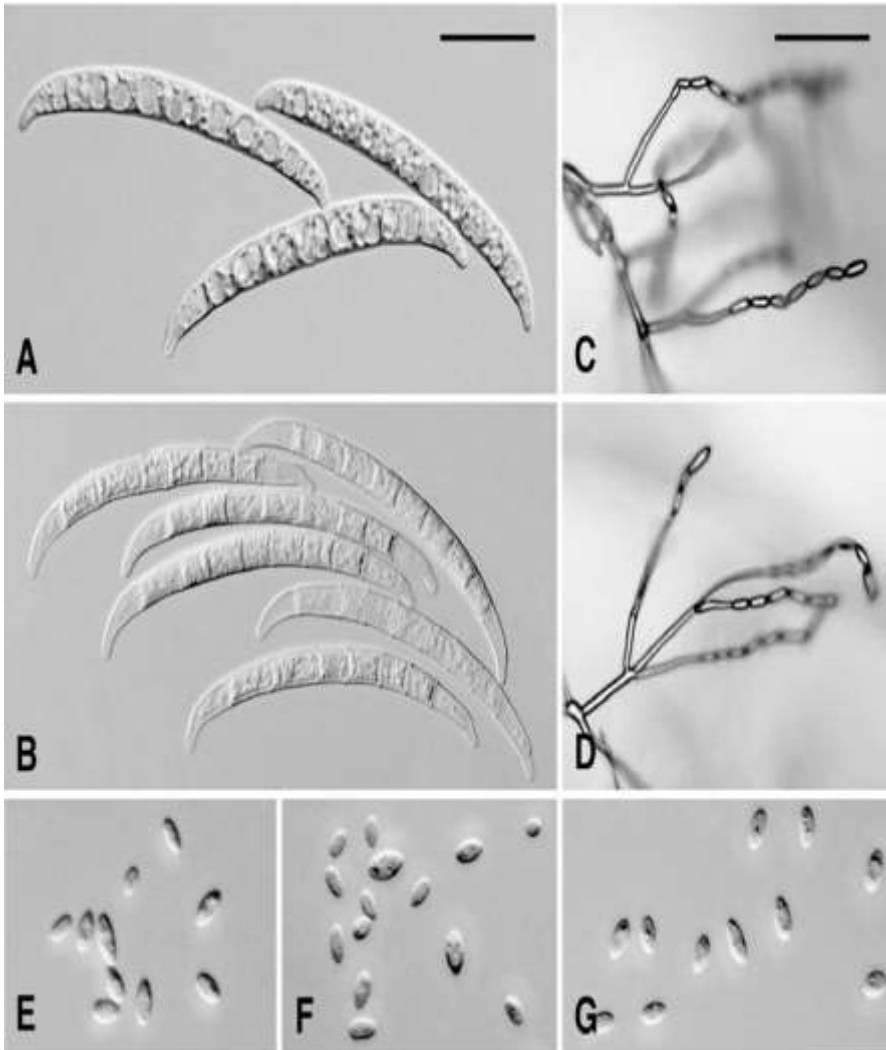
satu-satunya yang memiliki hifa melingkar. *Fusarium circinatum* dan *F. pseudocircinatum* dapat dibedakan dengan pembentukan rantai pendek mikrokonidia oleh *F. pseudocircinatum*, sedangkan *F. circinatum* menghasilkan mikrokonidia hanya pada false head. Karena rantai pendek sulit ditemukan berdasarkan morfologi, teknik molekuler mungkin diperlukan untuk membedakan yang pasti antara *F. pseudocircinatum* dan *F. Sterilihyphosum*. Makrokonidia *F. sterilihyphosum* lebih panjang dan lebih ramping daripada *F. pseudocircinatum*.

Secara filogeni, *F. circinatum* dan *F. sterilihyphosum* tidak terkait erat dengan *F. Pseudocircinatum*. *Fusarium pseudocircinatum* mempunyai hubungan filogeni paling dekat dengan *F. lactis* dan *F. Denticulatum*. *Fusarium circinatum* dan *F. sterilihyphosum* mempunyai hubungan paling erat dengan *F. anthophilum*, *F. bulbicola*, dan *F. succisae*. Dengan demikian pola koil hifa yang tidak lazim mungkin adalah karakter yang telah berkembang secara konvergen dibandingkan dengan karakter yang dipelajari secara evolusioner. Isolat *F. pseudocircinatum* tidak dapat mendeteksi kadar beauvericin, tetapi dapat menghasilkan moniliformin, tingkat fusaproliferin yang rendah, dan fumonisins.

5.8. *Fusarium decemcellulare*

Fase seksual. *Albonectria rigidiuscula*.

Nama umum yang sama. *Fusarium rigidiuscula*.



Gambar *Fusarium decemcellulare*.

A – B: Makrokonidia; C – D: Mikrokonidia in situ on CLA; E – G: Mikrokonidia .

Distribusi Geografi dan Inang

Ditemukan lebih sering di daerah tropis. Berhubungan dengan penyakit kanker berbagai spesies pohon.

Media dan Ciri-Ciri Kunci

Karakter jamur ini di media CLA adalah makrokonidia terbentuk pada monophialides yang ditemukan pada sporodochia berwarna kuning pada hifa. Makrokonidia dari *Fusarium decemcellulare* mudah dibedakan dengan spesies lain karena sangat besar, panjang dan lebar, lurus atau sedikit melengkung, dan kuat dengan dinding tebal. Memiliki 5-9 septate dengan sel apikal dan sel basal berbentuk kaki. Makrokonidia diproduksi pada monophialides pada konidiofor bercabang di sporodochia dan pada hyphae. Mikrokonidia ditemukan dalam bentuk rantai panjang yang dihasilkan dari monophialides dalam konidiofor yang bercabang atau langsung dari hifa. Mikrokonidia berbentuk oval dan biasanya tidak memiliki septate. Klamidospora tidak ada.

Karakter di PDA.

Fusarium decemcellulare adalah jamur yang tumbuh lambat di PDA. Miselium berwarna putih sampai krem, tetapi bisa menjadi gelap seiring bertambahnya usia dari kultur yang diamati. Yang paling khas dari kultur ini menghasilkan sporodochia kuning yang mengeluarkan eksudat sehingga penampilan dari koloni kelihatan basah. Pigmen merah biasanya diproduksi dalam agar.

Macroconidia

Sporodochia: kuning, kadang-kadang dengan cairan eksudat.

Morfologi umum: sangat panjang, kuat dan berdinding tebal. Cukup lebar untuk ukuran dibandingkan dengan banyak spesies lainnya dan ada bentuk lengkungan di kedua sisi macroconidia.

Morfologi sel apikal: bulat dan tumpul.

Morfologi sel basal: berbentuk kaki.

Jumlah septa: 5 - 9 septate, biasanya 7-9 septate.

Kelimpahan: biasanya berlimpah di sporodochia, macroconidia dari sporodochia biasanya seragam dalam bentuk dan ukuran

Microconidia

Bentuk / septation: bentuk oval dan 0-septate.

Presentasi miselium aerial: biasanya rantai panjang, tetapi kadang-kadang seperti false head.

Sel koniogenen: monophialides.

Kelimpahan: berlimpah di miselia udara.

Klamidopsora. Tidak ada.

Taksonomi, Patologi, dan Ekologi

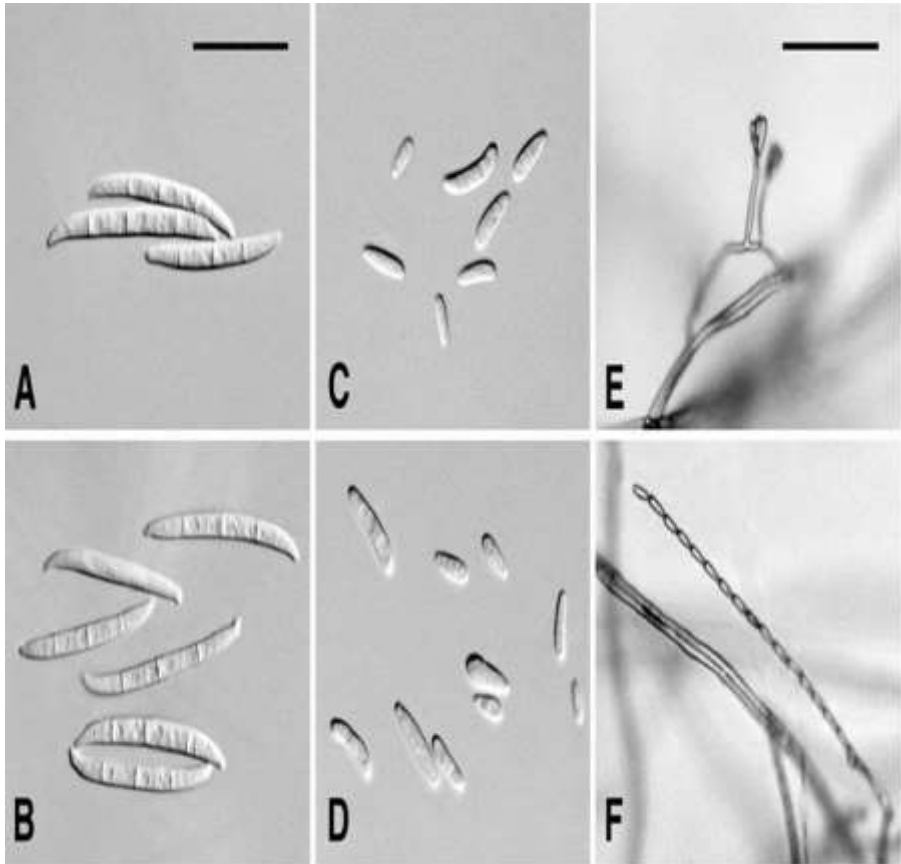
Fusarium decemcellulare sangat mudah dibedakan dengan spesies *Fusarium* lainnya karena ukuran besar macroconidia dan fitur morfologi yang unik. Stadium seksual dikenal dengan *Albonectria rigidiuscula* yang adalah homothallic.

Fusarium decemcellulare biasanya hanya ditemukan di daerah tropis dan sub-tropis, dan secara konsisten dikaitkan dengan kanker dan mati-punggung dari berbagai pohon buah-buahan tropis, misalnya alpukat dan mangga. Laporan lain dari tanaman inang jamur ini dapat menyebabkan penyakit termasuk pada pohon mentimun, dan Spanish lime. *Fusarium decemcellulare* dapat tumbuh pada kayu yang diolah dengan boraks dan natrium pentachlorophenoxide dan pada ubin langit-langit pada bangunan di area yang lembab.

Ada laporan *F. decemcellulare* menjadi racun terhadap mice, tetapi laporan ini belum dikonfirmasi. Laporan lain dari toksigenitas hewan yang dikaitkan dengan *F. decemcellulare* telah ditemukan disebabkan oleh spesies *Fusarium* lainnya. Pigmen naphthoquinone dari *F. decemcellulare* adalah phytotoxic. *Fusarium decemcellulare* membawa gen yang mengkode gen trichothecene 3-O-acetyltransferase fungsional, yang dapat digunakan sebagai pertahanan terhadap trichothecene mycotoxins

5.9. *Fusarium fujikuroi*

Fase seksual . *Gibberella fujikuroi* (Sawada) Ito in Ito & K. Kimura.
Nama umum yang sama : *Fusarium proliferatum*, *Gibberella fujikuroi* Mating Population C.



Gambar *Fusarium fujikuroi*.

A – B: Macroconidia; C – D: Microconidia; E – F: Microconidia in situ on CLA. A – D, scale bar = 25 µm; E – F, scale bar = 50 µm.

Distribusi Geografi dan Inang

Terutama pada padi dan menyebabkan penyakit yang dikenal bakane

Ciri-ciri utama dan media

Pada media CLA terbentuk sporodochia berwarna oranye pucat yang sering dikaburkan oleh miselium dan rantai mikrokonidia. Macroconidia panjang, ramping, biasanya berjumlah 3-5 septa, dan berdinding tipis. Macroconidia diproduksi pada monophialides dari konidiofor bercabang di sporodochia dan jarang dari monophialides pada hyphae. Mikrokonidia melimpah dalam bentuk false head atau rantai dari polifialides dan jarang terbentuk dari monophialides. Mikrokonidia berbentuk oval ke bentuk klub, biasanya 0 - 1 septa, dan memiliki basis yang rata. Rantai mikrokonid biasanya lebih pendek daripada *F. verticillioides* atau yang dimiliki oleh *F. proliferatum*. Sering terbentuk berpasangan dari polyphialides membentuk huruf 'V' yang khas ketika diamati di insitu.

Karakter di PDA.

Fusarium fujikuroi sangat mirip dalam morfologi koloni untuk *F. verticillioides* dan hampir tidak dapat dibedakan dari *F. proliferatum*. Pada media, miselium berwarna putih yang bisa menjadi warna abu-abu, ungu atau magenta dengan bertambahnya usia kultur yang diamati. Sporodochia biasanya tidak ada tetapi jika ada, berwarna oranye pucat. Sklerotia berwarna gelap dapat terjadi pada beberapa isolate. Pigmentasi dalam agar bervariasi dan berkisar dari tidak ada pigmenasi atau oranye keabu-abuan dalam beberapa isolat ke abu-abu ungu, ungu gelap atau magenta gelap (hampir hitam) pada yang lain.

Macroconidia

Sporodochia: dapat menghasilkan sporodochia berwarna oranye. Ketika sporodochia hadir, makrokonidia biasanya seragam dalam bentuk dan ukuran. Banyak isolat membentuk sangat sedikit atau tidak ada sporodochia atau kehilangan kemampuan ini setelah subkultur berulang.

Morfologi umum: relatif ramping, panjang sedang tanpa kelengkungan signifikan. Ciri khas spesies di kompleks spesies *Gibberella fujikuroi*.

Morfologi sel apikal: meruncing.

Morfologi sel basal: tidak berkembang dengan baik.

Jumlah septa: 3-5 septate.

Kelimpahan: berlimpah dalam sporodochia.

Microconidia

Bentuk / septation: oval atau berbentuk klub dengan dasar rata dan 0 - 1septate. Beberapa microconidia pyriform mungkin ada di beberapa isolat.

Presentasi miselium aerial: kepala dan rantai pendek dan pendek.

Sel-sel koniogenogen: polifial (biasanya) dan monofialida.

Kelimpahan: berlimpah di miselia udara.

Klamidospora: Klamidospora tidak ada. Untuk diperhatikan bahwa beberapa sel yang bengkak dapat berkembang di hyphae untuk spesies ini dan muncul, secara dangkal, seperti klamidopsora atau pseudochlamydospores.

Taksonomi, Patologi, dan Ekologi

Fusarium fujikuroi secara efektif secara morfologis tidak dapat dibedakan dari *F. proliferatum* dan dapat secara akurat dibedakan hanya dengan melakukan tes fertilisasi silang seksual atau melalui sekuensing DNA. Tahap seksual, *G. fujikuroi*, diketahui terjadi di bawah kondisi lapangan dan banyak kelompok kompatibilitas vegetative yang dapat dihasilkan dari rekombinasi seksual, ditemukan di bawah kondisi lapangan. Secara filogenetik, *F. proliferatum* dan *F. fujikuroi* juga memiliki hubungan yang sangat erat, meskipun kariotipe mereka berbeda. Pemisahan antara *F. fujikuroi* dan *F. proliferatum* sehubungan dengan kawin tidak lengkap, dan hibrida yang terjadi secara alami di antara kedua spesies ini telah ditemukan. Studi mikroskop elektron dari pembentukan konidium juga telah dibuat untuk mengidentifikasi karakter yang dapat digunakan untuk membedakan *F. fujikuroi* dari spesies lain di kompleks spesies *G. fujikuroi*.

Studi genetika dan biologi molekuler *Fusarium fujikuroi* relatif banyak. Banyak gen telah dikloning dan dikarakterisasi, dimana yang paling jelas termasuk terkait dengan karotenoid dan biosintesis asam gibberellic, pengaturan nitrogen dan karbon metabolisme. *Fusarium fujikuroi* membutuhkan transformasi plasmid mengandung sepotong *F. fujikuroi* DNA, dan trans-formants yang dihasilkan dari rekombinasi.

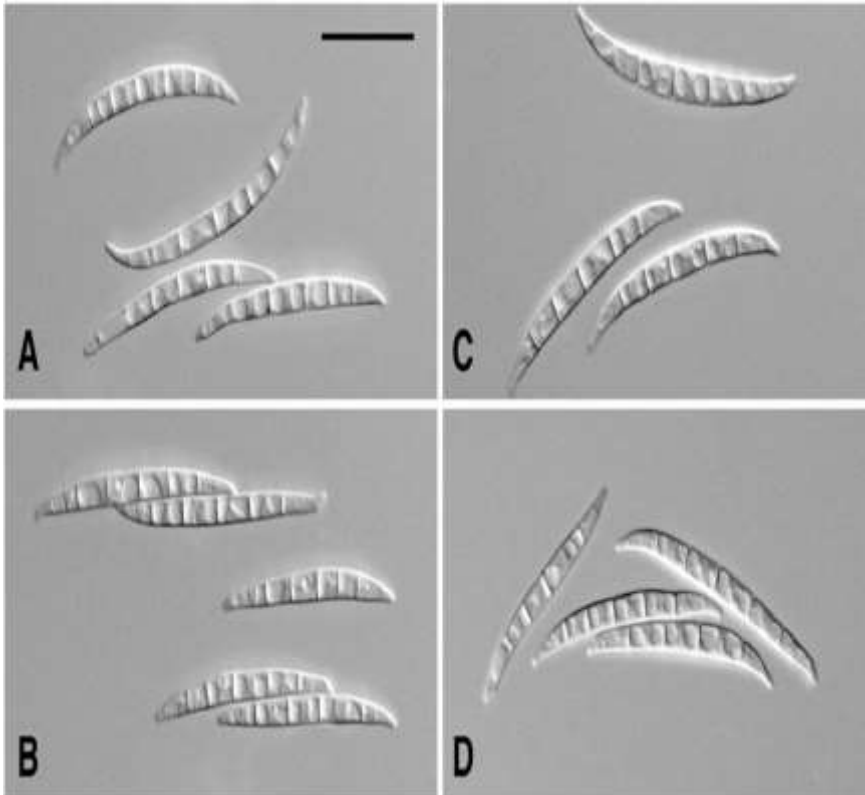
Jamur ini menyebabkan "bakanae", atau bibit yang tidak kelihatan baik, penyakit pada padi di sejumlah daerah persawahan padi. Penyakit ini ditandai dengan pembentukan batang memanjang oleh

tanaman padi dalam rangka tanggap giberelin. Gibberellin ini juga muncul untuk merangsang perkecambahan spora jamur dan pemanjangan hifa muda. Jalur asam giberelat pada tanaman dan *F. fujikuroi*, tetapi juga berbeda secara signifikan, menunjukkan bahwa jalur biosintesis pada tumbuhan dan jamur telah berevolusi secara terpisah dan tidak hanya melalui transfer gen horizontal.

Fusarium fujikuroi dapat difermentasi secara komersial untuk produksi asam giberelin dan merupakan sumber komersial potensial karotenoid. *Fusarium fujikuroi* menghasilkan moniliformin, dan secara luas digunakan sebagai sumber toksin ini dalam penelitian pakan pada hewan dan juga dapat menghasilkan tingkat tinggi beauvericin dan asam fusarat. *Fusarium fujikuroi* membawa gen yang mengkodekan gen trichothecene 3- O-acetyltransferase fungsional, yang dapat digunakan sebagai pertahanan terhadap trichothecene mycotoxins. Beberapa strain membawa gen yang diperlukan untuk biosintesis fumonisin dan dapat menghasilkan tingkat rendah dari toksin ini.

5.10. *Fusarium graminearum*

Fase seksual : *Gibberella zeae* Schwein (Petch).



Gambar. *Fusarium graminearum*.

A – D: Macroconidia. Scale bar = 25 μm .

Distribusi geografi dan inang

Terdistribusi secara cosmopolitan dan ditemukan terutama pada jagung, gandum dan barley, tetapi juga ditemukan pada tanaman semusim dan tanaman tahunan lainnya.

Karakter kunci dan media

Sporodokia jarang terlihat di media CLA, tetapi ketika dapat diamati terlihat warna oranye dan mungkin tersembunyi di bawah miselia. Makrokonidia relatif ramping, berbentuk sabit sampai hampir lurus, berdinding tebal, dengan memiliki 5-6septa. Sel apikal meruncing dan sel basal berbentuk kaki yang jelas. Pembentukan klamidospora bervariasi, dan sering terbentuk di makrokonidia. Tahap teleomorph, *Gibberella zeae*, biasanya terbentuk pada daun carnation dan pada agar. Karena jamur ini adalah homothallic dengan demikian perithecia dapat terbentuk.

Karakteristik pada PDA.

Koloni tumbuh dengan cepat dan menghasilkan miselia padat dalam jumlah besar yang bervariasi dari warna putih ke kuning pucat hingga kuning. Menghasilkan sporodokia berwarna merah kecoklatan hingga oranye perlahan (> 30 hari). Kultur membentuk pigmen merah dalam agar. Pigmennya sensitif terhadap pH dan dapat berubah dari merah menjadi kuning ketika pH turun.

Makrokonidia

Sporodokia: oranye pucat, tetapi sering langka atau sulit ditemukan. Makrokonidia pada sporodokia biasanya memiliki bentuk dan ukuran yang seragam.

Morfologi umum: ramping, berdinding tebal, dan panjang sedang. Cukup melengkung lurus dengan permukaan ventral lurus dan sisi punggung melengkung mulus.

Morfologi sel apikal: meruncing dan kadang-kadang dibatasi menjadi bentuk seperti moncong.

Morfologi sel basal: bentuk kaki berkembang dengan baik.

Jumlah septa: 5-6-septa. Septa biasanya sangat berbeda.

Keberadaan: makrokonidia relatif jarang terjadi pada kultur *F. graminearum*. Makrokonidia paling banyak ditemukan di sporodokia.

Mikrokonidia . tidak ada.

Klamidospora

Keberadaan / Kecepatan formasi: bervariasi, tetapi seringkali sangat lambat untuk terbentuk. Kurangnya produksi klamidospora.

Lokasi: paling sering di makrokonidia, tetapi bisa juga terbentuk di miselia.

Penampilan: diproduksi secara tunggal, berkelompok, dan berantai.

Biasanya bulat dengan penampilan yang kasar, tetapi tidak verukosa.

Taksonomi, Patologi, dan Ekologi

Selama bertahun-tahun *Fusarium graminearum* dipecah menjadi dua taksa yang dikenal sebagai *F. graminearum* Grup 1 dan *F. graminearum* Grup 2. Secara morfologis sangat sulit untuk membedakan kedua kelompok, tetapi ada perbedaan ekologis dan patologis yang penting. Aoki dan O'Donnell mendeskripsikan populasi Kelompok 1 sebagai *F. pseudograminearum* dan populasi Kelompok 2 mempertahankan nama *Fusarium graminearum* asli dan *Gibberella zeae* teleomorph yang terkait. Dari sudut pandang praktis, cara termudah untuk membedakan kedua spesies ini adalah perithecia

oleh isolat spora tunggal yang dimurnikan pada CLA atau wortel agar. *Fusarium graminearum* adalah homothallic dan sebagian besar strain akan menghasilkan perithecia pada salah satu dari media ini, meskipun perithecia biasanya diproduksi lebih cepat (dalam beberapa kasus hanya dalam waktu empat hari) dan dalam jumlah yang lebih besar pada agar wortel daripada pada CLA. Spesimen tipe untuk *G. zeae* tersedia. *Fusarium pseudograminearum* adalah kultur murni spora heterotelik dan tunggal yang tidak dapat membentuk perithecia sendirian di kedua medium. *Fusarium graminearum* adalah salah satu spesies yang paling sulit dalam genus untuk disimpan dalam penyimpanan jangka panjang. Isolat yang tersimpan harus diperiksa dengan beberapa keteraturan untuk memastikan kelangsungan hidup mereka.

Subdivisi lebih lanjut dari *F. graminearum* juga telah diusulkan. Cullen dkk. (423) mengusulkan dua jenis, yang disebut 'A' dan 'B', yang berbeda dalam patogenisitas, morfologi kultur, dan produksi zearalenon, tetapi terminologi ini belum banyak digunakan dan dasar genetik untuk perbedaan ini belum diperiksa. Carter dkk. (319) mengidentifikasi tiga kelompok yang berbeda, disebut "A", "B" dan "C" dari Eropa, Nepal dan Amerika Serikat, dan Desjardins dkk. (476) mengidentifikasi tiga kelompok dari Nepal, tetapi bagaimana kelompok-kelompok ini berhubungan dengan garis keturunan yang dijelaskan oleh O'Donnell dan kelompoknya belum diketahui. O'Donnell dkk. (1599, 1601) dan Ward dkk. (2291), mengidentifikasi sembilan garis keturunan filogenesis *F. graminearum* yang dapat diselesaikan dengan sequencing gen yang dipilih. Delapan garis

keturunan yang dijelaskan dan kesembilan yang belum diberi sebutan garis keturunan telah digambarkan sebagai spesies terpisah oleh O'Donnell dkk. (1601). Spesies ini adalah: *Fusarium brasiliicum* Aoki, (Kistler, Geiser & O'Donnell), *Fusarium austroamericanum* (Aoki, Kistler, Geiser & O'Donnell), *Fusarium meridionale* (Aoki, Kistler, Geiser & O'Donnell), *Fusarium boothii* (O'Donnell, Aoki, Kistler & Geiser), *Fusarium mesoamericanum* (Aoki, Kistler, Geiser & O'Donnell), *Fusarium acaciae-mearnsii* (O'Donnell, Aoki, Kistler & Geiser), *Fusarium asiaticum* (O'Donnell, Aoki, Kistler & Geiser), *F. graminearum* dan *Fusarium cortaderiae* (O'Donnell, Aoki, Kistler & Geiser). Empat garis keturunan tambahan / spesies juga telah diusulkan tetapi belum secara resmi dijelaskan (2037). Berdasarkan kesuburan dari persilangan strain dari garis yang berbeda tidak ada indikasi bahwa garis keturunan ini lebih dari satu spesies biologis. Dengan demikian, kami merekomendasikan bahwa nama tunggal, *F. graminearum*, digunakan untuk semua garis keturunan filogenetik / spesies yang terkait dengan kelompok jamur ini.

Kultur *F. graminearum* dapat dengan mudah bingung dengan *F. pseudograminearum*, *F. crookwellense* dan *F. culmorum* dan dengan spesies di bagian *Sporotrichiella*, misalnya, *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *F. poae* dan *F. chlamydosporum*. Perbedaan morfologi makrokonidia memungkinkan diferensiasi *F. graminearum* dari *F. culmorum* dan *F. crookwellense*. Ketiadaan mikrokonidia membedakan isolat *F. graminearum* dari isolat beberapa anggota bagian *Sporotrichiella* yang membentuk koloni pada PDA mirip dengan *F. graminearum*.

Sebagian besar isolat membentuk perithecia yang berlimpah di alam dan melepaskan ascospores yang menyebabkan penyakit pada bagian tanaman udara seperti hawar daun (kudis kepala) gandum, barley, oat, tangkai dan tongkol jagung, cabang belakang Acacia dan Eucalyptus, dan bunga anyelir. Perithecia melepaskan ascospores ketika hujan atau kelembaban tinggi.

Distribusi ascospores ke bagian kepala biji-bijian pada kondisi lapangan terjadi secara acak dan hampir terus-menerus selama musim tanam. Perithecia dilaporkan mempertahankan kelangsungan hidupnya hingga 16 bulan pada biji jagung atau 23 bulan pada jerami gandum dengan kelangsungan hidup biasanya berlangsung lebih lama daripada kemampuan untuk bersporulasi. Suhu yang dilaporkan optimal untuk pembentukan perithecium (29°C) agak lebih tinggi dari suhu maksimum (26°C) di mana ascospores dilepaskan. Ascospora dan makrokonidia dapat secara efektif menginisiasi infeksi tanaman, tetapi ascospore dan perkecambahan makrokonidia keduanya bergantung pada kelembaban dimana spora yang mampu berkecambah pada kelembaban relatif lebih rendah daripada makrokonidia. Dengan menggunakan strain yang ditransformasikan membawa penanda protein fluorescent hijau, akhir proses infeksi gandum dan barley oleh *F. graminearum* telah diteliti.

Fusarium graminearum dapat menjadi patogen pada spesies tanaman seperti *Arabidopsis thaliana*, yang memungkinkan studi lebih cepat dari interaksi host-patogen untuk jamur ini.

Jagung sangat bervariasi dalam kepekaan terhadap *F. graminearum*.

Fusarium graminearum dapat menurunkan antimikroba benzoxazoinoids 6-methoxy-2-benzoxazolinone dan 2-benzoxazolinone yang diproduksi oleh jagung. Kandungan asam ferulat yang meningkat dalam biji jagung berkorelasi dengan ketahanan terhadap penyakit busuk telinga yang diinduksi oleh *F. graminearum*. *Fusarium graminearum* juga sensitif terhadap pertahanan kimia tanaman. Infeksi telinga jagung melalui saluran sutra tergantung pada genotipe induk dan paling efisien ketika sutera baru muncul. Kernel jagung yang terinfeksi *F. graminearum* secara signifikan lebih kecil kemungkinannya untuk terinfeksi *F. verticillioides* daripada kernel yang tidak terinfeksi *F. graminearum*. Galur gandum dan barley juga bervariasi dalam kepekaan mereka terhadap *F. graminearum*, tetapi strain jamur tidak dapat selalu dibedakan berdasarkan agresivitas mereka terhadap gandum. Produksi Trichothecene adalah karakter penting untuk virulensi dan untuk penyebaran jamur dalam kepala gandum yang terinfeksi. Enzim Kinase MAP yang dikodekan oleh *Gpmk1* mengatur ekspresi enzim pengurai dinding sel yang disekresikan yang diperlukan untuk patogenisitas. Kepala tanaman gandum dan barley yang rusak memiliki kernel seperti model “batu nisan” yang mengecil, tetapi kernel yang sakit ini tidak bertanggung jawab atas penularan penyakit dilapangan. Sebaliknya splash dispersal spora pada residu tanaman tampaknya cukup untuk penyebaran makrokonidia dan ascospores dalam suatu bidang. Referensi untuk *F. gramineumum* sebagai agen kausal dari busuk mahkota gandum adalah selalu pada kelompok strain yang sekarang membentuk *F. pseudograminearum*.

Populasi lapangan *G. zae* secara genetik cukup berbeda seperti yang ditentukan dari penelitian yang menggunakan sejumlah penanda genetik yang berbeda.

Di Amerika Serikat bagian utara populasi ini hanya berisi 7 garis keturunan dan secara esensial kawin secara acak. Jumlah variasi genetik terbatas pada satu populasi adalah dan jarak genetik antara populasi berkorelasi dengan jarak fisik mereka. Primer dan protokol untuk mendeteksi *F. graminearum* melalui tes PCR real-time sudah tersedia, dan telah digunakan untuk menunjukkan bahwa *F. graminearum* mendominasi dalam Fusarium Head Blight epidemi di Eropa.

Pekerjaan genetik yang signifikan telah dilakukan pada *F. graminearum* dan mutan auxotrophic, morfologi dan regulasi yang tersedia untuk studi. Studi tentang vegetatif dikompatibilitas dapat dibuat menggunakan nit mutan atau interaksi yang terjadi ketika beberapa strain lapangan dipasangkan. Progeni dari persilangan heterozigot dapat didisolasi baik dengan memilih untuk progeni rekombinan dari persilangan antara mutan nit komplementer atau dengan memaksa umpan silang di mana strain tipe liar adalah induk jantan dan strain dengan jenis kawin sebagian dinaktivasi adalah induk perempuan. Seluruh genom telah diurutkan ([www.broad.mit.edu/annotation/fungi / fusarium](http://www.broad.mit.edu/annotation/fungi/fusarium)) dan EST berdasarkan pustaka cDNA strain yang dibudidayakan dalam kondisi yang berbeda tersedia untuk penelitian. Peta fisik genom mitokondria juga tersedia untuk *F. graminearum*.

Peta genetik yang rinci tersedia untuk *G. zeae*. Korelasi antara peta genetik awal dan peta genetik kedua berdasarkan strain yang berbeda dengan urutan fisik juga telah dibuat.

Sejumlah studi fisiologis telah dilakukan pada *F. Graminearum*. *Fusarium graminearum* dapat memanfaatkan berbagai senyawa sebagai sumber nitrogen tunggal termasuk, nitrat, amonium, urea, dan sebagian besar purin dan asam amino yang tidak mengandung sulfur dan memiliki dinding sel jamur yang cukup khas terdiri dari kitin. Makrokonidia berkinerja terbaik pada kelembaban relatif yang lebih tinggi (> 80%) pada keadaan gelap. Penurunan hyphal menurun dan kandungan alkohol gula intraseluler meningkat ketika potensi air tanah menurun. Jumlah enzim yang diperiksa dari *F. graminearum*, selain yang terkait dengan biosintesis toksin, tidak besar dan mencakup xilanase.

Fusarium graminearum biasanya tidak berhubungan dengan manusia sebagai patogen langsung. Jamur ini tahan terhadap sebagian besar anti jamur klinis, dengan amfoterisin B dilaporkan sebagai yang paling efektif.

Isolat *F. graminearum* dapat menghasilkan tiga mikotoksin yang penting, zearalenon, nivalenol dan deoxynivalenol serta aurofusarin, culmorins, fusarin C, fusaro chromanone dan steroid. *Fusarium graminearum* tidak dilaporkan menghasilkan moniliformin. Gen-gen yang terlibat dalam jalur biosintetik aurofusarin telah diidentifikasi dan dikloning, tetapi pengaturan dan hubungan timbal balik mereka belum dipahami dengan baik. Produksi trichothecene umumnya telah dipahami dengan baik. Produksi deoxynivalenol atau nivalenol

biasanya ditentukan oleh fungsi gen tunggal, dan PCR primer untuk mengidentifikasi alel fungsional dan non-fungsional sudah tersedia. Primer ini telah digunakan untuk menganalisis populasi *F. graminearum* di Inggris dan Australia. Primer yang membedakan strain menghasilkan DON dan NIV juga telah dikembangkan berdasarkan perbedaan di wilayah intergenik tri5-tri6.

Diskusi yang panjang tentang toksin pada hewan dan manusia yang terkait dengan *F. gramineumum*, yang meliputi hiperestrogenisme dan sindrom refusal pada pakan hewan peliharaan, terutama babi, dan keracunan biji-bijian pada manusia. Secara umum penyakit ini dapat dijelaskan oleh salah satu dari tiga mikotoksin primer yang diproduksi oleh *F. graminearum*, tetapi ada beberapa kasus yang menunjukkan bahwa senyawa toksigenik tambahan masih harus diidentifikasi. Pada ayam, bisa beracun jika trichothecene diproduksi, tetapi tidak jika zearalenone sendiri yang diproduksi. Sapi juga relatif tidak sensitif terhadap zearalenone, meskipun senyawa ini dapat ditularkan ke dalam susu sapi perah jika zearalenone hadir pada tingkat yang cukup tinggi dalam makanan.

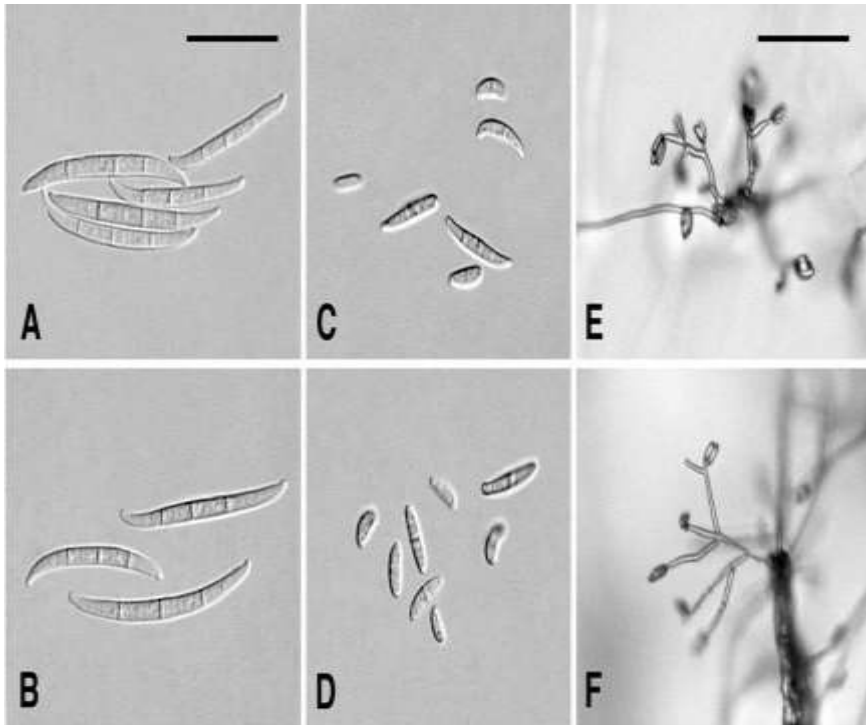
Beberapa strain *F. graminearum* dapat menghasilkan zearalenone dan digunakan untuk produksi komersial yang kemudian dimodifikasi secara kimia dan dijual sebagai promotor pertumbuhan ternak. Zearalenone awalnya dilaporkan berfungsi sebagai stimulan atau pheromone untuk reproduksi seksual.

Biosintesis mikotoksin pada *F. graminearum* secara umum tampaknya lebih sensitif terhadap suhu dibandingkan dengan ketersediaan air. Di bawah kondisi lapangan, waktu pengumpulan

sampel mempengaruhi jumlah mikotoksin yang diisolasi. Di bawah kondisi laboratorium produksi deoxynivalenol meningkat dengan kelembaban relatif, pengamatan konsisten dengan pengamatan dilapangan. Penggunaan miselia jamur sebagai pengganti untuk mendeteksi racun telah diusulkan tetapi belum diterima secara luas.

5.11. *Fusarium mangiferae*

Fase seksual: Tidak diketahui.



Gambar : *Fusarium mangiferae*.

A – B: Makrokonidia; C – D: Mikrokonidia ; E – F: Mikrokonidia in situ on CLA. A – D, scale bar = 25 μ m; E – F, scale bar = 50 μ m.

Distribusi Geografis dan Inang

Penyebab malformasi fase vegetatif dan perbungaan pada mangga (*Mangifera indica*) di Brasil, Mesir, India, Israel, Malaysia, Pakistan, Afrika Selatan, dan Amerika Serikat.

Karakter Kunci dan Media

Karakter di CLA : Sporodokia berwarna krim yang dihasilkan pada daun anyelir.

Makrokonidia khas dari kompleks spesies *G. fujikuroi*.

Mikrokonidia obovoid diproduksi di false head kecil dari mono dan polyphialides.

Karakter di PDA. White floccose mycelium dengan pigmen ungu terang ke warna gelap pada agar.

Makrokonidia

Sporodokia: warna krem-oranye. Relatif melimpah di dan sekitar potongan daun carnation di CLA.

Morfologi umum: tipis ber dinding, panjang, ramping dan lurus hingga sedikit melengkung. Khas spesies di kompleks spesies *Gibberella fujikuroi*.

Morfologi sel apikal: melengkung ke hampir bengkok.

Morfologi sel basal: berbentuk kaki.

Jumlah septa: 3 – 5 septa.

Keberadaan: relatif melimpah di sporodokia.

Mikrokonidia

Bentuk / septasi: Mikrokonidia obovoid adalah yang paling umum, meskipun oval ke konidia allantoid juga dapat diamati. Biasanya 0-septa, tetapi 1-septa mikrokonidia dapat terjadi.

Presentasi miselium aerial: False head kecil (biasanya <5 spora).

Sel-sel koniogenen: Monophialides dan polyphialides.

Polyphialides mungkin memiliki 2-5 bukaan konidiogen.

Konidiofor bercabang sympodial memberikan penampilan zig-zag.

Keberadaan:berlimpah di miselia udara.

Klamidospora. tidak ada

Taksonomi, Patologi, dan Ekologi

Spesies ini menyebabkan penyakit malformasi mangga di Israel dan di tempat lain yang sebelumnya digambarkan sebagai *F. subglutinans*. Karakter morfologi yang digunakan untuk menggambarkan spesies ini mirip dengan spesies *F. subglutinans* dan spesies terkait. *Fusarium mangiferae* dapat dibedakan dari *F. Steriliphyosum*. *Fusarium mangiferae* menghasilkan makrokonidia yang lebih panjang, tumbuh lebih lambat pada 25 ° C, dan tidak menghasilkan hifa melingkar berbentuk steril.

Secara morfologis, *F. mangiferae* paling mirip dengan *F. concentricum* dan *F. guttiforme*. *Fusarium mangiferae* dapat dibedakan dari *F. concentricum* oleh cabang-cabang simpodial dari konidiosofoora yang terjadi pada *F. mangiferae* tetapi tidak pada *F. concentricum*. *Fusarium mangiferae* dapat dibedakan dari *F. guttiforme* karena *F. guttiforme* hanya menghasilkan mikrokonidia

obovoid dan makrokonidia 3-septa yang agak lebih pendek daripada makrokonidia yang dihasilkan oleh *F. mangiferae*. Phylogenetically, *F. mangiferae* dikelompokkan dengan clade dari kompleks spesies *G. fujikuroi* yang mencakup *F. proliferatum*, dan bukan dengan yang termasuk *F. subglutinans*, nama yang mungkin paling sering salah diidentifikasi.

Urutan molekuler telah didefinisikan yang dapat digunakan untuk membedakan spesies ini dari spesies lain yang terkait erat. Upaya untuk menghasilkan tahap seksual di bawah kondisi laboratorium belum berhasil, meskipun isolat dari jenis kawin yang berlawanan telah diidentifikasi dari populasi lapangan. Isolat yang diperiksa tidak subur dengan strain tester dari spesies biologis yang dikenal di kompleks spesies *G. fujikuroi*. Teknik biologi molekuler mungkin harus digunakan untuk mengkonfirmasi identifikasi morfologi spesies ini. Strain lapangan beragam sehubungan dengan kompatibilitas vegetatif dan beberapa jenis polimorfisme DNA.

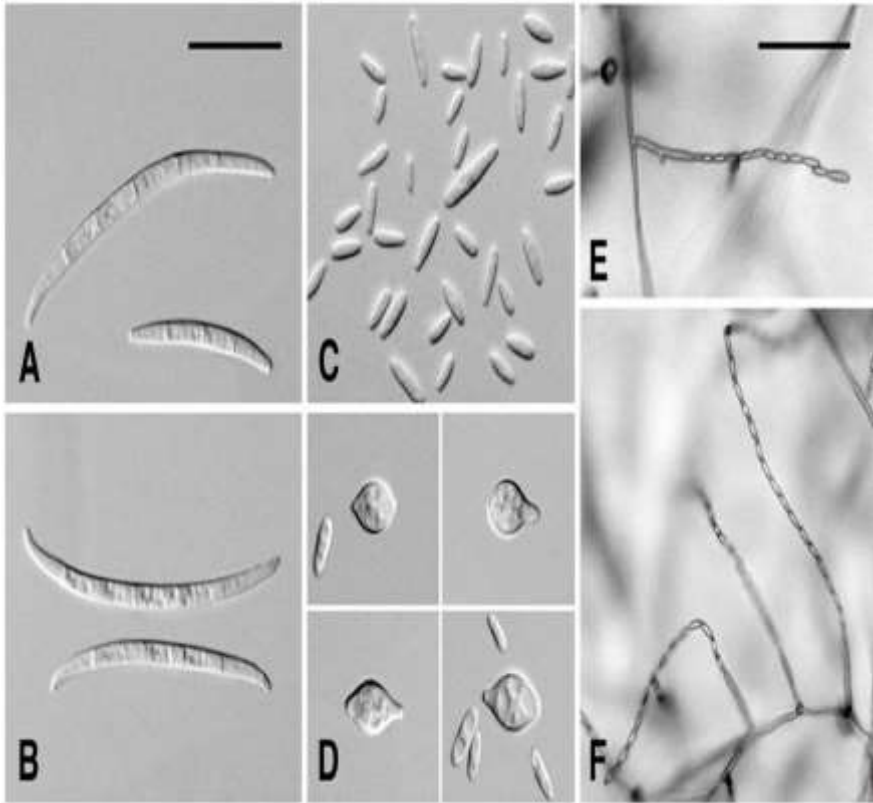
Fusarium mangiferae adalah salah satu dari tiga spesies yang dilaporkan dari mangga, yang lain adalah *F. sterilihyphosum* dan takson tak tentu, dan merupakan satu-satunya spesies yang terbukti menyebabkan penyakit mangga malformasi. Penyakit ini secara ekonomi penting bagi tanaman mangga karena bunga yang terinfeksi tidak menghasilkan buah dan mengakibatkan kerugian ekonomi yang parah. Dalam beberapa kasus tunas vegetatif juga dapat terpengaruh. Malformasi mangga pertama kali dilaporkan di India lebih dari 100 tahun yang lalu dan mungkin telah menyebar dari sana ke daerah lain di mana mangga dibudidayakan. Penyakit ini mungkin disebabkan

oleh tanah, tetapi tidak jelas apakah cara penularan ini penting untuk menghasilkan infeksi baru. Penularan yang ditularkan melalui benih telah diusulkan, tetapi tidak diverifikasi. Keparahan penyakit dapat dikurangi dengan memangkas cabang yang terinfeksi dan penggunaan bibit bebas penyakit. Umur tanaman juga signifikan dalam ekspresi gejala. Penyakit ini dapat di vektori oleh serangga dan penggunaan insektisida dapat mengurangi penyebaran penyakit dan keparahan. Jamur menyerang baik anthers dan putik tanaman yang terinfeksi, dan mungkin terkait dengan tunas muda sangat awal selama perkembangan tanaman. Yang konsisten dengan kesimpulan bahwa gejala kelainan berkembang di jaringan bunga hanya setelah terjadi kolonisasi oleh jamur. Kemampuan untuk menggunakan sumber nitrogen dalam bunga mungkin penting dalam menentukan tingkat keparahan infeksi.

Tidak ada laporan produksi mikotoksin oleh strain *F. mangiferae*, meskipun strain pada spesies ini yang secara filogenetik terkait erat mampu mensintesis asam giberelat dan berbagai mikotoksin termasuk, fumonisins, beauvericin, fusaproliferin dan moniliformin. *Fusarium mangiferae* dapat mensintesis sitokinin yang bertanggung jawab untuk setidaknya beberapa perkembangan tanaman abnormal yang terkait dengan penyakit malformasi mangga.

5.12. *Fusarium napiforme*

Sexual Stage. Tidak diketahui



A – B: Makrokonidia; **C:** Ovoid to obovoid mikrokonidia ; **D:** Napiform mikrokonidia **E – F:** Mikrokonidia in situ on CLA.
A – D, scale bar = 25 μm ; E – F, scale bar = 50 μm .

Distribusi Geografis dan Inang

Diisolasi dari tanah, sorgum, gandum dan pakan unggas di Afrika, Argentina dan Australia.

Karakter Utama di CLA.

Sporodokia berwarna orange diproduksi di miselia udara.

Makrokonidia cukup panjang, lurus, hialin dan berdinding tipis. Tiga jenis konidia terbentuk di miselia udara.

Mikrokonidia obovoid berlimpah dalam rantai dan false head dari monofialides. Mikrokonidia napiform diproduksi secara perlahan baik secara tunggal atau berbentuk false head kecil (<5 spora).

Mesoconidia fusiform diproduksi jarang dan tunggal.

Klamidospora diproduksi relatif lambat.

Karakter di PDA.

Koloni berwarna putih flokose dan terlihat bagus dalam agar.

Makrokonidia

Sporodokia: sporodokia berwarna sedang hingga terang ditemukan di miselia udara.

Morfologi umum: cukup lama, hialin, dan putus asa hingga lurus.

Morfologi sel apikal: meruncing dan sedikit melengkung.

Morfologi sel basal: berbentuk kaki.

Jumlah septa: 3-5 septa, kebanyakan 5-septa.

Keberadaan: berlimpah dalam sporodokia dan ditemukan pada permukaan agar.

Mikrokonidia / Mesoconidia

Bentuk / septasi: Hialin, 0 - 1sept, obovoid, lemon, dan napiform mikrokonidia diproduksi oleh semua strain. Bentuk obovoid paling melimpah.

Microkonidia napiform jarang dan bisa memakan waktu hingga tiga minggu untuk muncul. Jumlah septa 1-3 fusiform, mesoconidia diproduksi jarang oleh beberapa strain.

Presentasi miselium aerial: false head dan rantai pendek (≤ 10 spora) pada CLA, dengan rantai yang lebih panjang (hingga 25 spora) pada media KCl.

Sel koniogenogen: monophialides.

Keberadaan: berlimpah di miselia udara.

Klamidospora

Keberadaan / Kecepatan pembentukan: diproduksi relatif lambat, membutuhkan setidaknya 3 minggu, pada CLA. Klamidospora sering jarang terjadi dan sulit untuk diamati.

Lokasi: terminal atau kalkun dalam hifa terendam dan udara.

Penampilan: hyaline menjadi berwarna pucat coklat dan halus berdinding biasanya dalam rantai atau rumpun tetapi kadang-kadang sendirian.

Taksonomi, Patologi, dan Ekologi

Fusarium napiforme pertama kali dijelaskan oleh Marasas dkk yang diisolasi dari gandum dan sorgum di Afrika Selatan dan Namibia. Spesies ini memiliki kesamaan dengan sejumlah spesies di kompleks spesies *Gibberella fujikuroi*, terutama *F. dlamini* dan *F. nygamai*, keduanya juga bisa menghasilkan klamidospora. Baik klamidospora maupun napiform conidia lambat terbentuk, dan pada saat kultur masih muda dapat secara keliru diidentifikasi sebagai *F.*

verticillioides. *Fusarium napiforme* dapat dengan mudah dibedakan dari *F. dlamini* karena *F. napiforme* menghasilkan mikrokonidia dalam rantai dan *F. dlamini* tidak. Produksi mikrokonidia berbentuk napiform oleh *F. napiforme* dan produksi polyphialides oleh *F. nygamai* dapat digunakan untuk membedakan secara morfologis spesies ini. Pertumbuhan linear maksimum dilaporkan terjadi pada 25 ° C dan potensi osmotik -1.0 MPa .

Meskipun pertama kali diidentifikasi dari Afrika Selatan, *F. napiforme* juga telah diidentifikasi dari gandum dan dari pakan unggas di Argentina, biji-bijian millet dan tanah di berbagai bagian Afrika, dan tanah di berbagai lokasi di Australia. *Fusarium napiforme* telah dikaitkan dengan pneumonitis hipersensitivitas pada manusia.

Beberapa strain *F. napiforme* dapat menghasilkan moniliformin, asam fusarat, dan fumonisins.

DAFTAR PUSTAKA

Abd-Elsalam KA, Aly IN, Abdel-Satar MA, Khalil MS, Verreet JA (2003) PCR identification of *Fusarium* genus based on nuclear ribosomal-DNA sequence data. *African Journal of Biotechnology* 2, 82-85.

Abd-Elsalam KA, Khalil MS, Aly AA, Asran-Amal A (2002) Genetic diversity among *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* isolates revealed by UP-PCR and AFLP markers. *Phytopathologia Mediterranea* 41, 252-258.

Abdel-Satar MA, Khalil MS, Mohamed IN, Abd-Elsalam KA, Verreet JA (2003) Molecular phylogeny of *Fusarium* species by AFLP fingerprint. *African Journal of Biotechnology* 2, 51-55.

Alabouvette C, Lemanceau P, Steinberg C (1996) Biological control of *Fusarium* wilts: opportunities for developing a commercial product. In „Principles and practice of managing soilborne plant pathogens.“ (Ed R. Hall) pp.192-212. (American Phytopathology Society Press)

Alabouvette C, Schippers B, Lemanceau P, Baker PAHM (1998) Biological control of *Fusarium* wilts. In „Plant-microbe interactions and biological control“. (Eds GJ Boland and LD Kuykendall) pp.15-36. (Marcel Dekker: New York, USA)

Alconero R (1968) Mycorrhizal synthesis and pathology of *Rhizoctonia solani* in *Vanilla* orchid roots. *Phytopathology* 59, 426-430.

Alconero R (1968a) Infection and development of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* in *Vanilla* roots. *Phytopathology* 58, 1281-1283.

Alconero R and Santiago AG (1969) *Fusaria* pathogenic to *Vanilla*. *Plant Disease Reporter* 53, 854-856.

Alconero R, Stone EG, Cairns J R (1973) Intensive cultivation of *Vanilla* in Uganda. *Agronomi Journal* 65, 44-46.

Alves-Santos FM, Benito EP, Eslava AP, Diaz-Minguez JM (1999) Genetic diversity of *Fusarium oxysporum* strains from common bean fields in Spain. *Applied and Environmental Microbiology* 65, 3335-3340.

Amstrong GM, Amstrong JK (1981) *Formae speciales* and races of *Fusarium oxysporum* causing wilt disease. In „*Fusarium: Diseases, Biology, and Taxonomy.*“ (Eds PE Nelson, TA Toussoun, RJ Cook) pp. 391-399. (The Pennsylvania State University Press)

Anandaraj M, Rema J, Sasikumar B. (2001) *Vanilla* extension pamphlet. *Spices Research* pp 1-8.

Anilkumar AS (2004) Vanilla cultivation a profitable agri-based enterprise. Kerala Calling pp. 26-30.

Appel DJ, Gordon TR (1995) Intraspecific variation within population of *Fusarium oxysporum* based on RFLP analysis of the intergenic spacer region of the rDNA. *Experimental Mycology* 19, 120-128.

Appel DJ, Gordon TR (1996) Relationship among pathogenic and non pathogenic isolates of *Fusarium oxysporum* based on the partial sequence of the intergenic spacer region of the ribosomal DNA. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 9, 125-138.

Athman SY, Dubois T, Coyne D, Gold CS, Labuschagne N, Viljoen A (2007) Effect of endophytic *Fusarium oxysporum* on root penetration and reproduction of *Radopholus similis* in tissue culture- derived banana (*Musa* spp.) plants. *Nematology* 9, 599-607.

Baayen RP, O'Donnell K, Bonants PJM, Cigelnik E, Kroon LPNM, Roebroek EJA, Waalwijk C (2000) Gene genealogies and AFLP analyses in the *Fusarium oxysporum* complex identify monophyletic and nonmonophyletic formae speciales causing wilt and rot disease. *Phytopathology* 90, 891-900.

Baruah A, Saikia A (2002) Vegetative anatomy of the orchid *Vanilla planifolia* Andr. *Journal Economy Taxonomy Botany* 26, 161-165.

Belabid L, Baum M, Fortas Z, Bouznad Z, Eujayl I (2004) Pathogenic and genetic characterization of Algerian isolates of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lentis* by RAPD and AFLP analysis. *African Journal of Biotechnology* 3, 25-31.

Bentley S, Pegg KG, Moore NY, Davis RD, Buddenhagen IW (1998) Genetic variation among vegetative compatibility groups of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* analysed by DNA fingerprinting. *Phytopathology* 88, 1283-1293.

Besse P, Da Silva D, Bory S, Grisoni M, Le Bellec F, Duval MF (2004) RAPD genetic diversity in cultivated vanilla: *Vanilla planifolia*, and relationship with *V.tahitensis* and *V pompona*. *Plant Science* 167, 379-385.

Bogale M, Wingfield BD, Wingfield MJ, Steenkamp ET (2005) Simple sequence repeat markers for species in the *Fusarium oxysporum* complex. *Molecular Ecology Notes*.

Booth C (1971) *The genus Fusarium*. (Commonwealth Mycological Institute, Kew Surrey, England)

Booth C (1975) The present status of *Fusarium* taxonomy. *Annual Review Phytopathology* 13, 83-93.

Booth C (1984) The *Fusarium* problem: historical, economic and taxonomic aspects. In „The applied mycology of *Fusarium*“. Symposium of the British Mycological Society Held at Queen Mary College London, September 1982. (Eds MO Moss and JE Smith) pp. 1-13. (Cambridge University Press)

Borja I, Solheim H, Hietala AM, Fosdal CG (2006) Etiology and realtime polymerase chain reaction-based detection of *Gremmeniella*- and *Phomopsis*-associated disease in Norway spruce seedling. *Phytopathology* 96, 1305–1314.

Britz H, Coutinho TA, Wingfield BD, Wingfield MJ (2002) Sequence characterized amplified polymorphic markers for the pitch canker pathogen, *Fusarium circinatum*. *Molecular Ecology Notes* 3, 577– 580.

Brugmans B, Van der Hulst RGM, Visser RGF, Limdhout P, Van Eck HJ (2003) A new and versatile method for the successful conversion of AFLP markers into simple single locus markers. *Nucleic Acid Research* 31, 1-9.

Burgess LW (1981) General ecology of the fusaria. In '*Fusarium*: diseases, biology, and taxonomy'. (Eds PE Nelson, TA Toussoun and RJ Cook) (Pennsylvania State University Press: University Park)

Burgess LW, Summerell BA, Bullock S, Gott KP, Backhouse D (1994) Laboratory manual for Fusarium research (3rd Edition) University of Sydney, Sydney

Burnett J (2003) Genetic markers for population studies-II molecular markers. In „Fungal populations and species“ pp. 47-64. (Oxford University Press)

Cai G, Gale LR, Schneider RW, Kistlet HC, Davis RM, Elias KS, Miyao EM (2003) Origin of race 3 of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* at a single site in California. *Phytopathology* 93, 1014-1022.

Cohen S, Allasia V, Venard P, Notter S, Vernie`re CH, Panabie`res F (2003) Intraspecific variation in *Phytophthora citrophthora* from citrus trees in eastern Corsica. *European Journal of Plant Pathology* 109, 791–805.

Conover WJ (1999) Cochran`s test for related observations. In „Practical nonparametric statistics“. pp. 250-258. (John Wiley & Sons Inc.: New York)

Correll DS (1953) Vanilla-it`s botany, history, cultivation and economic importance. *Journal Economic Botany* 7, 91-358.

Correll JC, Klittich CJR, Leslie JF (1987) Nitrate nonutilising mutants of *Fusarium oxysporum* and their use in vegetative compatibility tests. *Phytopathology* 77, 1640-1646.

Correll JC, Puhalla JE, Schneider RW (1986) Identification of *Fusarium oxysporum* f.sp. *apii* on the basis of colony size, virulence, and vegetative compatibility. *Phytopathology* 76, 396-400.

Covert SF (1998) Supernumerary chromosomes in filamentous fungi. *Current Genetics* 33, 311-319.

Davis RD, Moore NY, Kochman JK (1996) Characterisation of a population of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* causing wilt of cotton in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 47, 1143-1156.

Dignum MJW, Kerler J, Verpoorte R (2001) Vanilla Production: Technological, chemical, and biosynthesis aspects. *Food Reviews International* 17, 199-219.

DiPietro A, Madrid MP, Caracuel Z, Delgado-Jarana J, Roncero MIG (2003) *Fusarium oxysporum*: exploring the molecular arsenal of a vascular wilt fungus. *Molecular Plant Pathology* 4, 315-325.

Divakaran M, Pillai GS, Nirmal BaBu K, Peter KV (2008) Isolation and fusion protoplast in *Vanilla* species. *Current Science* 94, 115-120.

Edel V, Steinberg C, Avelange I, Laguerre G, Alabouvette C (1995) Comparison of three molecular methods for the characterization of *Fusarium oxysporum* strains. *Phytopathology* 85, 579-585.

Edel V, Steinberg C, Gautherton G, Alabouvette C (1997) Populations of non-pathogenic *Fusarium oxysporum* associated with roots of four plant species compared to soilborne populations. *Phytopathology* 87, 693-697.

Edel V, Steinberg C, Gautherton N, Recorbet G, Alabouvette C (2001) Genetic diversity of *Fusarium oxysporum* populations isolated from different soils in France. *FEMS Microbiology Ecology* 36, 61-71.

Elias KS, Zamir D, Lichtman-Pleban T, Katan T (1993) Population structure of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*: restriction fragment length polymorphisms provide genetic evidence that vegetative compatibility group is an indicator of evolutionary origin. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 6, 565-572.

Elizabeth KG (2002) Vanilla: an orchid spice. *Indian Journal of Arecanut, Spices and Medicinal Plants* 4, 96-98.

Elbakali AM, Lilja A, Hantula J, Martin M (2003) Identification of Spanish isolates of *Rhizoctonia solani* from potato by anastomosis

grouping, ITS-RFLP and RAMS-fingerprinting. *Phytopathologia Mediterranea* 42,167–176.

Farreyrol K, Pearson MN, Grisoni M, Leclercq-Le Quillec F (2001) Severe stunting of vanilla tahitensis in French Polynesia caused by Cucumber mosaic virus (CMV), and the detection of the virus in *V. fragrans* in Reunion Island. *Plant Pathology* 50, 414.

Fetch TGJ, Steffenson BJ, Nevo E (2003) Diversity and source of multiple disease resistance in *Hordeum spontaneum*. *Plant Disease* 87, 1439-1448.

Fernandez D, Quinten M, Tantaoui A, Geiger JP (1997) Molecular records of micro evolution within the Algerian population of *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* during its spread to new oases. *European Journal of Plant Pathology* 103, 485-490

Fouche JG, Coumans M (1992) Vanilla pollination. *American Orchid Society Bulletin* 61, 1118-1122.

Fouche JG, Jouve L (1999) *Vanilla planifolia*: history, botany and culture in Reunion Island. *Agronomie* 19, 689-703.

Francis DM, St.Clair DA (1997) Population genetics of *Pythium ultimum*. *Phytopathology* 87, 454-461.

Fravel D, Olivain C, Alabouvette C (2003) *Fusarium oxysporum* and its biocontrol. *New Phytologist* 157, 493-502.

Garcia-Maceira FE I, Di Pietro A, Huertas-Gonzalez MD, Ruiz-Roldan MC, Roncero MIG (2001) Molecular characterization of endopolygalacturonase from *Fusarium oxysporum* expressed during early stages of infection. *Applied and Environmental Microbiology* 67, 2191-2196.

Gehrig H, Faist K, Kluge M (1998) Identification of phosphoenolpyruvate carboxylase isoforms in leaf, stem and roots of the obligate CAM and plant *Vanilla planifolia* Salisb.(Orchidaceae): a physiological and molecular approach. *Plant Molecular Biology* 38, 1215-1223.

Gordon TR, Martyn RD (1997) The evolutionary biology of *Fusarium oxysporum*. *Annual Review Phytopathology* 35, 111-128.

Gordon TR, Okamoto D (1991) Vegetative compatibility grouping in a local population of *Fusarium oxysporum*. *Canadian Journal of Botany* 69, 168-172.

Grisoni M, Davidson F, Hyrondelle C, Farrreyrol K, Caruana ML, Pearson M (2004) Nature, incidence, and symptomatology of viruses infecting *Vanilla tahitensis* in French Polynesia. *Plant Disease* 88, 119-124.

Guadet J, Julien J, Lafay JF, Brygoo Y (1989) Phylogeny of some *Fusarium* species, as determined by large-subunit rRNA sequence comparison. *Molecular Biology and Evolution* 6, 227-249.

Gunn LV, Summerell BA (2002) Differentiation of *Fusarium oxysporum* isolates from Phoenix canariensis (Canary Island Date Palm) by vegetative compatibility grouping and molecular analysis. *Australasian Plant Pathology* 31, 351-358.

Hadrami AE, Idrissi-Tourane AL, Hassni ME, Daayf F, Hadrami IE (2005) Toxin-based in-vitro selection and its potential application to date palm for resistance to the bayoud *Fusarium* wilt. *Comptes Rendus Biologies* 328, 732-744.

Hantula J, Dusabenyagasani M, Hamelin RC (1996) Random amplified microsatellites (RAMS) – a novel method for characterizing genetic variation within fungi. *European Journal of Forest Pathology* 26, 159-166.

Hantula J, Lilja A, Nuorteva H, Parikka P, Werres S (2000) Pathogenicity, morphology and genetic variation of *Phytophthora cactorum* from strawberry, apple, rhododendron, and silver birch. *Mycological Research* 104, 1062-1068.

Hantula J, Lilja A, Parikka P, (1997) Genetic variation and host specificity of *Phytophthora cactorum* isolated in Europe. *Mycological Research* 101, 565–572.

Hasan S, Vago C (1972) The pathogenicity of *Fusarium oxysporum* to mosquito larvae. *Journal of Invertebrata Pathology* 20, 268-271.

Hawksworth DL, Kirk PM, Sutton BC, Pegler DN (1995) *Ainsworth and bisby's dictionary of the fungi*. 8th Edition. (CABI Publishing)

Hayden HL, Carlier J, Aitken EAB (2005) The genetic structure of Australian populations of *Mycosphaerella musicola* suggests restricted gene flow at the continental scale. *Phytopathology* 85, 489- 498.

Hocking MB (1997) Vanillin: synthetic flavouring from spent sulfite liquor. *Journal Chemical Education* 74, 1055-1059.

Hua-Van A, Langin T, Daboussi MJ (2001) Evolutionary history of the impala transposon in *Fusarium oxysporum*. *Molecular Biology and Evolution* 18, 1959-1969.

Irvine J, Delfel NE (1961) Flowering behaviour of Vanilla. *Nature* 190:366

Jacobson DJ, Gordon TR (1988) Vegetative compatibility and self-incompatibility within *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis*. *Phytopathology* 78, 668-672.

Jana T, Sharma TR, Prasad RD, Arora DK (2003) Molecular characterization of *Macrophomina phaseolina* and *Fusarium* species by single primer RAPD technique. *Microbiological Research* 158, 249-257.

Jimenez-Gasco MM, Jimenez-Diaz RM (2003) Development of specific polymerase chain reaction–based assay for the identification of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris* and its pathogenic races 0, 1A, 5, and 6. *Phytopathology* 93, 200-209.

Jimenez-Gasco MM, Milgroom MM, Jimenez-Diaz RM (2002) Gene genealogies support *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris* as a monophyletic group. *Plant Pathology* 51, 72-77.

Jimenez-Gasco MM, Perez-Artez E, Jimenez-Diaz RM (2001) Identification of pathogenic races 0, 1B/C, 5, and 6 of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris* with random amplified polymorphic DNA (RAPD). *European Journal of Plant Pathology* 107, 237-248.

Katan T (1999) Current status of vegetative compatibility groups in *Fusarium oxysporum*. *Phytoparasitica* 27, 1-14.

Katan T, Berliner R, Katan J (1994) Vegetative compatibility in populations of *Fusarium oxysporum* from wild carnation. *Mycological Research* 98, 1415-1418.

Katan T, Gamliel A, Katan J (1996) Vegetative compatibility of *Fusarium oxysporum* from sweet basil in Israel. *Plant Pathology* 45, 656-661.

Katan T, Shlevin E, Katan J (1997) Sporulation of *Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici* on stem surfaces on tomato plants and aerial dissemination of inoculum. *Phytopathology* 87, 712-719.

Katan T, Zamir D, Sarfatti M, Katan J (1991) vegetative compatibility groups and subgroups in *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici*. *Phytopathology* 81, 255-262.

Kelly A, Alcalá-Jiménez AR, Bainbridge BW, Heale JB, Pérez-Artes E, Jiménez-Díaz RM (1994) Use of genetic fingerprinting and random amplified polymorphic DNA to characterize pathotypes of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* infecting chickpea. *Phytopathology* 84, 1293-1298.

Kistler HC (1997) Genetic diversity in the plant-pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology* 87, 474-479.

Kistler HC (2001) Evolution of host specificity in *Fusarium oxysporum*. In „*Fusarium*, The Paul E. Nelson Memorial

Symposium". (Eds BA Summerell, JF Leslie, D Backhouse, WL Bryden, LW Burgess) pp.70-81. (APS: St Paul, USA)

Kistler HC, Alabouvette C, Baayen RP, Bentley S, Brayford D, Coddinton A, Correll J, Daboussi MJ, Elias K, Fernandez D, Gordon TR, Katan T, Kim HG, Leslie JF, Martyn RD, Migheli Q, Moore NY, O'Donnel K, Ploetz RC, Rutherford MA, Summerell BA, Waalwijk C, Woo S (1998) Systematic numbering of vegetative compatibility groups in the plant pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology* 88, 30-32.

Kistler HC, Benny U (1989) The mitochondrial genome of *Fusarium oxysporum*. *Plasmid* 22, 86-89.

Klein KK, Correll JC (2001) Vegetative compatibility group diversity. In „*Fusarium*, The Paul E. Nelson Memorial Symposium". (Eds BA Summerell, JF Leslie, D Backhouse, WL Bryden, LW Burgess) pp. 83-95. (APS: St Paul, USA)

Koenig RL, Ploetz RC, Kistler HC (1997) *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* consists of small number of divergent and globally distributed clonal lineages. *Phytopathology* 87, 915-923.

Kononowicz H, Janick J (1984) In vitro propagation of *Vanilla planifolia*. *Horticulture Science* 19, 58-59.

Krcmery Jr. V, Jesenska Z, Spanik S, Gyarfas J, Nogova J, Botek R, Mardiak J, Sufliarsky J, Sisolakova J, Vanickova M, Kunova A, Studena M, Trupl J (1997) Fungaemia due to *Fusarium* spp. in cancer patients. *Journal of Hospital Infection* 36, 223-228.

Kuldau GA, Yates IE (2000) Evidence for *Fusarium* endophytes in cultivated and wild plants. In 'Microbial Endophytes'. (Eds CW Bacon and JF White) pp. 85-117. (Marcel Dekker: New York, USA)

Kumar N, Khader A, Rangaswami K, Irulappan I (1997) Vanilla. In „Introduction to Spices, Plantation Crops, Medicinal and Aromatic Plants.“ pp 64-68. (Oxford and IBH Publishing).

Larkin RP, Fravel DR (1998) Efficacy of various fungal and bacterial biocontrol organisms for control of *Fusarium* wilt of tomato. *Plant Disease* 82, 1022-1028.

Larkin RP, Fravel DR (2002) Effects of varying environmental conditions on biological control of *Fusarium* wilt of tomato by nonpathogenic *Fusarium* spp. *Phytopathology* 92, 1160-1166.

Larkin RP, Hopkins DL, Martin FN (1996) Suppression of *Fusarium* wilt of watermelon by non-pathogenic *Fusarium oxysporum* and other microorganisms recovered from a disease-suppressive soil. *Phytopathology* 86, 812-819.

Leslie JF (1993) Fungal vegetative compatibility. *Annual Review Phytopathology* 31, 127-150.

Leslie JF, Pearson CAS, Nelson PE, Toussoun TA (1990) *Fusarium* species from corn, sorghum and soybean fields in the central and eastern United States. *Phytopathology* 80, 343-350.

Leslie JF, Summerell BA (2006) 'Fusarium Laboratory Manual.' (Blackwell Publishing: Iowa, USA)

Leslie JF, Zeller KA (1996) Heterokaryon incompatibility in fungi- more than just another way to die. *Journal Genetics* 75, 415-424.

Lestari EG, Sukmadjaja D, Mariska I, Hobir, Tombe M, Kosmiatin , Rusyadi Y, Rahayu S (2001). Perbanyak in vitro dan pengujian lanjutan pada nomor-nomor harapan Panili dan Lada yang tahan penyakit. In „Prosiding Seminar Hasil Penelitian Rintisan dan Bioteknologi Tanaman“. pp. 109-118. Bogor

Liew ECY, Rondonuwu F, Pinaria A, Sembel DT, Summerell BA, Burgess LW (2004) *Fusarium* stem rot of vanilla in North Sulawesi. (Abstr.) *Phytopathology* 94, (suppl.):S61

Liew ECY, Pinaria A, Rondonuwu F, Paath J, Sembel DT, Burgess LW (2008) Vanilla stem rot pathogen can survive as an endophyte

within healthy vines. (Abstr.) Journal of Plant Pathology 90, (supp2.):S414

Llorens A, Hinojo MJ, Mateo R, Gonzalez-Jaen MT, Valle-Algarra FM, Logrieco A, Jimenez M (2006) Characterization of *Fusarium* spp. isolates by PCR-RFLP analysis of the intergenic spacer region of the rRNA gene (rDNA). International Journal of Food Microbiology 106, 297-306.

Louvet J, Toutain G (1981) Bayoud, *Fusarium* wilt disease. In „*Fusarium: Diseases, Biology, and Taxonomy.*“ (Eds PE Nelson, TA Toussoun, RJ Cook) pp.13-20. (The Pennsylvania State University Press)

Lowe A, Harris S, Ashton P (2004) Ecological genetics: Design, Analysis and Application. (Blackwell Publishing)

Macia-Vicente JG, Jansson HB, Abdullah SK, Descals E, Salinas J, Lopez-Liorca LV (2008) Fungal root endophytes from natural vegetation in Mediterranean environments with special reference to *Fusarium* spp. FEMS Microbiology Ecology 64, 90-105.

Mahuku GS, Henri'quez MA, Mun'oz J, Buruchara R (2002) Molecular markers dispute the existence of the Afro-Andean group of the bean angular leaf spot pathogens *Phaeoisariopsis griseola*. Phytopathology 92, 580–589.

Mahuku GS, Riascos JJ (2004) Virulence and molecular diversity within *Colletotrichum lindemuthianum* isolates from Andean and Mesoamerican bean varieties and regions. *European Journal of Plant Pathology* 110, 253–263.

Majer D, Mithen R, Lewis BG, Vos P, Oliver RP (1996) The use of AFLP fingerprinting for the detection of genetic variation of fungi. *Mycological Research* 100, 1107-1111.

Mbofung GY, Hong SG, Pryor BM (2007) Phylogeny of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lactucae* inferred from mitochondrial small subunit, elongation factor 1- α , and nuclear ribosomal intergenic spacer sequence data. *Phytopathology* 97, 87-98.

McDonald BA (1997) The population genetics of fungi: tools and techniques. *Phytopathology* 87, 448-453.

McDonald BA, Linde C (2002) Pathogen population genetics, evolutionary potential and durable resistance. *Euphytica* 124, 163- 180.

McDonald BA, McDermott JM (1993) Population genetics of plant pathogenic fungi. *BioScience* 43, 311-319.

McDonald BA, Zhan J, Burdon JJ (1999) Genetic structure of *Rhynchosporium secalis* in Australia . *Phytopathology* 89, 639-645.

Melo J, Olarreaga M, Takacs W (2000) Pricing policy under double market power: Madagascar and the international Vanilla market. *Review of Development Economics* 4, 1-20.

Menz KM, Fleming EM (1989) Economic prospects for Vanilla in the South Pacific. ACIAR Technical Reports No. 11 14pp.

Mes JJ, Weststeijn EA, Herlaar F, Lambalk JJM, Wijbrandi J, Haring MA, Cornelissen BJC (1999) Biological and molecular characterization of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* divides race 1 isolates into separate virulence groups. *Phytopathology* 89, 156-160.

Messiaen CM, Cassini R (1981) Taxonomy of *Fusarium*. In „*Fusarium: disease, biology, and taxonomy.*“ (Eds PE Nelson, TA Toussoun and RJ Cook) pp. 427-445. (Pennsylvania State University Press: University Park)

Milgroom, M.G (1996) Recombination of multilocus of fungal populations. *Annual Review Phytopathology* 34, 457-477.

Mishra P, Fox RT, Culham A (2003) Inter-simple sequence repeat and aggressiveness analysis revealed high genetic diversity, recombination and long-range dispersal in *Fusarium culmorum*. *Annals Applied Biology* 143, 291–301.

Moore NY, Pegg KG, Buddenhagen IW, Bentley S (2001) Fusarium wilt of banana: a diverse clonal pathogen of a domesticated clonal host. In 'Fusarium: Paul E. Nelson Memorial Symposium'. (Eds BA Summerell, JF Leslie, D Backhouse, WL Bryden and LW Burgess) pp. 212-224. (APS Press: St. Paul, Minnesota)

Muheim A, Lerch K (1999) Towards a high-yield bioconversion of ferulic acid to Vanillin. *Applied Microbiology Biotechnology* 51, 456-461.

Muller-Stover D, Kroschel J, Thomas H, Sauerborn J (2002) Chlamydospores of *Fusarium oxysporum* Schlecht f.sp. *orthoceras* (Appel & Wollen) Bilai as inoculum for wheat-flour-kaolin granules to be used for the biological control of *Orobanche cumana* Wallr. *European Journal of Plant Pathology* 108, 221-228.

Nauman CE (1991) Vanilla: the fragrant flavourful orchid. *Fair. Tropical Garden Bulletin* 46, 10-14.

Nelson PE, Dignani MC, Anaissie EJ (1994) Taxonomy, biology, and clinical aspects of *Fusarium* species. *Clinical Microbiology Reviews* 7, 479 - 504.

Nelson AJ, Elias KS, Arevalo E, Darlington LC, Bailey BA (1997) Genetic characterization by RAPD analysis of isolates of *Fusarium*

oxysporum f.sp. erythroxyli associated with an emerging epidemic in Peru. *Phytopathology* 87, 1220-1225.

Nei M (1973) Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 70, 3321-3323.

O'Donnell K, Cigelnik E (1997) Two divergent intragenomic rDNA ITS2 types within a monophyletic lineage of the fungus *Fusarium* are nonorthologous. *Molecular Phylogenetic & Evolution* 7, 103-116.

O'Donnell K, Cigelnik E, Nirenberg H (1998) Molecular systematics and phylogeography of the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Mycologia* 90, 465-493.

O'Donnell K, Gherbawy Y, Schweigkofler W, Adler A, Prillinger H (1999) Phylogenetic analyses of DNA sequence and RAPD data compared in *Fusarium oxysporum* and related species from maize. *Journal of Phytopathology-Phytopathologische Zeitschrift* 147, 445-452.

O'Donnell K, Kistler HC, Cigelnik E, Ploetz RC (1998a) Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: Concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 95, 2044-2049.

O'Donnell K, Sutton DA, Rinaldi MG, Magnon KC, Cox PA, Revankar SG, Sanche S, Geiser DM, Juba JH, H. van Burik JA, Padhye A, Anaissie EJ, Francesconi A, Walsh TJ, Robinson JS (2004) Genetic diversity of human pathogenic members of the *Fusarium oxysporum* complex inferred from multilocus DNA sequence data and amplified fragment length polymorphism analyses: evidence for the recent dispersion of a geographically widespread clonal lineage and nosocomial origin. *Journal of Clinical Microbiology* 42, 5109-5120.

Ohara T, Tsuge T (2004) FoSTUA, encoding a basic helix-loop-helix protein, differentially regulates development of three kinds of asexual spores, macroconidia, microconidia, and chlamydospores, in the fungal plant pathogen *Fusarium oxysporum*. *Eucaryotic Cell* 3, 1412- 1422.

Olivain C, Alabouvette C (1997) Colonization of tomato root by a non-pathogenic strain of *Fusarium oxysporum*. *New Phytologist* 137, 481-494.

Olivain C, Alabouvette C (1999) Process of tomato roots colonization by a pathogenic strain of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* in comparison with a non-pathogenic strain. *New Phytologist* 141, 497-510.

Pasquali M, Marena L, Gullino ML, Garibaldi A (2004) Vegetative compatibility of the *Fusarium* wilt pathogen of Paris Daisy (*Argyranthemum frutescens* L.). *Journal Phytopathology* 152, 257-259.

Pearson MN, Jackson GVH, Pone SP, Howitt RLJ (1993) Vanilla viruses in the South Pacific. *Plant Pathology* 42, 127-131.

Perez-Silva A, Odoux E, Brat P, Ribeyre F, Rodriguez-Jimenez G, Robles-Olvera V, Garcia-Alvarado MA, Gunata Z (2006) GC-MS and GC-olfactometry analysis of aroma compounds in a representative organic aroma extract from cured vanilla (*Vanilla planifolia* G. Jackson) beans. *Food Chemistry* 99, 728-735.

Phan H (2006) *Fusarium* species associated with tropical grasses in Australia. PhD Thesis, The University of Sydney, Sydney, Australia.

Philip S (1980) Wilt of *Vanilla planifolia*. *Agricultural Research Journal Kerala*. 18, 139-140.

Pinaria A.G, Burgess L.W, Liew E.C.Y. 2010. *Fusarium* species associated with vanilla stem rot in Indonesia. *Australasian Plant Pathology*. 39: 176-183.

Pinaria, A. G., Laurence, M. H., Burgess, L. W. and Liew, E. C. Y. 2015. Phylogeny and origin of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* in Indonesia. *Plant Pathology* . 64: 1358–1365.

Ploetz RC (2001) Significant diseases in the tropics that are caused by species of *Fusarium*. In „*Fusarium*, The Paul E. Nelson Memorial Symposium“. (Eds BA Summerell, JF Leslie, D Backhouse, WL Bryden and LW Burgess) pp. 295-309. (APS: St Paul, USA)

Podstolski A, Havkin Frenkel D, Malinowski J, Blount JW, Kourteva G, Dixon RA (2002) Unusual 4-hydroxybenzaldehyde synthase activity from tissue cultures of Vanilla orchid *Vanilla planifolia*. *Phytochemistry* 61, 611-620.

Purseglove JW, Brown EG, Green CL, Robbins SRJ (1981) *Vanilla*. In „*Spices*“. Vol 2. Longman.

Puhalla JE (1984) Races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *apii* on California and their genetic interrelationships. *Canadian Journal of Botany* 62, 546-550.

Puhalla JE (1985) Classification of Strains of *Fusarium oxysporum* on the Basis of vegetative compatibility. *Canadian Journal Botany* 63, 179-183.

Plyler TR, Simone GW, Fernandez D, Kistler HC (2000) Genetic diversity among isolates of *Fusarium oxysporum* f.sp. *canariensis*. *Plant Pathology* 49, 155-164.

Rakotoarisoa MA, Shapouri S (2001) Market power and the pricing of commodities imported from developing countries: the case of US Vanilla bean imports. *Agricultural Economics* 25, 285-294.

Rao RR, Ravishankar GA (2000) Vanilla flavour: production by conventional and biotechnological routes. *Journal Science Food Agriculture* 80, 289-304.

Recorbet G, Steinberg C, Olivain C, Edel V, Trouvelot S, Dumas-Gaudot E, Gianinazzi S, Alabouvette C (2003) Wanted: pathogenesis-related marker molecules for *Fusarium oxysporum*. *New Phytologist* 159, 73-92.

Rismunandar, Sukma EK (2003) Bertanam panili. Swadaya

Roling WFM, Kerler J, Braster M, Apriyantono A, Stam H, Verseveld H (2001) Microorganisms with a taste for Vanilla: microbial ecology of traditional Indonesian Vanilla curing. *Applied Environmental Microbiology* 67, 1995-2003.

Roncero MIG, Hera C, Ruiz-Rubio M, Garcia Maceira Fe I, Madrid MP, Caracuel Z, Calero F, Delgado-Jarana J, Roldan-Rodriguez R, Martinez-Rocha AL, Velasco C, Roa J, Martin-Urdiroz M, Cordoba D, Di Pietro A (2003) *Fusarium* as a model for studying virulence in soilborne plant pathogens. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 62, 87-98.

Rowe RC, Farley JD, Coplin DL (1977) Airborne spore dispersal and recolonization of steamed soil by *Fusarium oxysporum* in tomato greenhouse. *Phytopathology* 67, 1513-1517.

Saleh AA, Zeller KA, Ismael AM, Fahmy ZM, El-Assiuty EM, Leslie JF (2003) Amplified fragment length polymorphisms diversity in *Cephalosporium* from Egypt. *Phytopathology* 93, 853-859.

Sambrook J, Russell DW (2001) *Molecular cloning: A laboratory manual*. (Cold Spring Harbor: New York)

Schippers B, Van Eck WH (1981) Formation and survival of chlamydospores in *Fusarium*. In '*Fusarium: diseases, biology, and taxonomy*'. (Eds PE Nelson, TA Toussoun RJ Cook) pp. 250-260. (Pennsylvania State University Press: University Park)

Shadakshari YG, Chandrappa HM, Umesha K (1996) Flowering and Fruit Set in Vanilla. *Journal Spices Aromatic Crops* 5, 148.

Skovgaard K, Nirenberg HI, O'Donnell K, Rosendahl S (2001) Evolution of *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum* races inferred from multigene genealogies. *Phytopathology* 91, 1231-1237.

Smith-White JL, Gunn LV, Summerell BA (2001) Analysis of diversity within *Fusarium oxysporum* using molecular and vegetative compatibility grouping. *Australasian Plant Pathology* 30, 153-157.

Soetono S (1962) A new disease of Vanilla. Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional Yogyakarta 24pp

Summerell BA, Kistler HC, Gunn LV (2001) Fusarium wilt of Phoenix canariensis caused by Fusarium oxysporum f.sp canariensis. In „Fusarium, The Paul E. Nelson Memorial Symposium“. (Eds BA Summerell, JF Leslie, D Backhouse, WL Bryden and LW Burgess) pp. 263-270. (APS: St Paul, USA)

Summerell BA, Salleh B, Leslie JF (2003) A utilitarian approach to Fusarium identification. Plant Disease 87, 117-128.

Sun R, Sacalis JN, Chin CK, Stil CC (2001) Bioactive aromatic compounds from leaves and stems of Vanilla fragrans. Journal Agricultural Food Chemistry 49, 5161-5164.

Swift CE, Wickliffe ER, Schwartz HF (2002) Vegetative compatibility groups of Fusarium oxysporum f. sp. cepae. Plant Disease 86, 606-610.

Taylor JW, Geiser DM, Burt A, Koufopanou V (1999a) The evolutionary biology and populations genetics underlying fungal strain typing. Clinical Microbiology Reviews 12, 126-146.

Taylor JW, Jacobson DJ, Fisher MC (1999b) The evolution of asexual fungi: reproduction, speciation and classification. Annual Review of Phytopathology 37, 197-246.

Theis T, Jimenez FA (1957) A Vanilla hybrid resistant to root rot. *Phytopathology* 47, 79-81.

Thomas J, Suseela B (2001) Sclerotium rot - a new disease of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) in India. *Journal of Spices and Aromatic Crops* 9, 175-176.

Thomas J, Vijayan AK, Bhai RS (2002) Vanilla disease in India and their management. *Indian Journal of Arecanut Spices & Medical Plants* 4, 143-149.

Tombe M, Kobayashi K and Ogoshi A (1994) Vegetative Compatibility Grouping of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* in Indonesia. *Indonesian Journal of Crop Science* 9, 29-39.

Tombe M, Komoto Y, Tezuka N (1993) Identification and Cultural Types of *Fusarium* Isolates from Vanilla in Indonesia. *Industrial Crop Research Journal* 6, 1-5.

Tombe M, Sitepu D (1986) The control of stem rot of Vanilla with fungicides. *Edisi-Khusus- Penelitian Rempah-dan-Obat* 2, 43-47.

Tombe M, Sitepu D, Mogi S (1997) Present status of biological control research of vanilla stem rot disease in Indonesia. In „Proceedings of the 4th International Workshop on Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Sapporo, Japan“. (Eds A Ogoshi, K

Kobayashi, Y Homma, F Kodama, N Kondo, S Akino) pp. 13-21.
(OECD, Paris)

Tombe M, Tsuchiya K, Nurawan A, Nazarudin SB, Oniki M, Matsumoto K (1992) Experiments on the introduction of biological and cultural control of stem rot disease of Vanilla. *Industrial Crop Research Journal* 4, 20-26.

Tooley PW, O' Neill NR, Goley ED, Carras MM (2000) Assessment of diversity in *Claviceps africana* and other *Claviceps* by RAM and AFLP analysis. *Phytopathology* 90, 1126–1130.

Tucker CM (1927) Vanilla root rot. *Journal Agricultural Research* 35, 1121-1135.

Vakalounakis DJ, Chalkias J (2004) Survival of *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum* in soil. *Crop Protection* 23, 871-873.

Vakalounakis DJ, Doulis AG, Klironomou E (2005) Characterization of *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum* attacking melon under natural conditions in Greece. *Plant Pathology*. 54, 339-346.

Vakalounakis DJ, Fragkiadakis GA (1999) Genetic diversity of *Fusarium oxysporum* isolates from cucumber: differentiation by pathogenicity, vegetative compatibility, and RAPD fingerprinting. *Phytopathology* 89, 161-168.

Versalovic J, Schneider M, De Bruijn FJ, Lupski JR (1994) Genomic fingerprinting of bacteria using repetitive sequence-based polymerase chain reaction. *Methods in Molecular and Cellular Biology* 5, 25-40.

Vos P, Hogers R, Bleeker M, Reijans M, Van De Lee T, Hornes M, Frijters A, Pot J, Peleman J, Kuiper M, Zabeau M (1995) AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research* 23, 4407 - 4414.

Vu T, Hauschild R, Sikora RA (2006) *Fusarium oxysporum* endophytes induced systemic resistance against *Radopholus similis* on banana. *Nematology* 8, 847-852.

Walsh JL (2007) *Fusarium* species associated with savanna ecosystem in Australia: Taxonomy, Ecology and Pathogenicity. PhD Thesis, The University of Sydney, Sydney, Australia.

Walton NJ, Mayer MJ, Narbad A (2003) Molecules of interest: vanillin. *Phytochemistry* 63, 505-515.

Wang B, Brubaker CL, Burdon JJ (2004) *Fusarium* species and *Fusarium* wilt pathogens associated with native *Gossypium* populations in Australia. *Mycological Research* 108, 35-44.

Wang B, Brubaker CL, Tate W, Woods MJ, Matheson BA, Burdon JJ (2006) Genetic variation and population structure of *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum* in Australia. *Plant Pathology* 55, 746-755.

Wang B, Priest MJ, Davidson A, Brubaker CL, Woods MJ, Burdon JJ (2007) Fungal endophytes of native *Gossypium* species in Australia. *Mycological Research* 111, 347-354.

Wang PH, Lo HS, Yeh Y (2001) Identification of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cucumerinum* and *Fusarium oxysporum* f.sp. *luffae* by RAPD-generated DNA probes. *Letters in Applied Microbiology* 33, 397-401.

Webster TM (1995) New perspectives on Vanilla. *Cereal Foods World* 40, 198-200.

Weis EA (2002). *Orchidaceae*. In „Spice Crops“. pp. 136-154. CABI Publishing.

Westcott RJ, Cheetham PSJ, Barraclough AJ (1994) Use of organised viable Vanilla plant aerial roots for the production of natural vanillin. *Phytochemistry* 35, 135-138.

Wisler GC, Zettler FW, Mu L (1987) Virus infection of Vanilla and other orchids in French Polynesia. *Plant Disease* 71, 1125-1129.

Wright S (1978) *Evolution and the genetics of populations*. (University of Chicago Press, Chicago)

Wunsch MJ, Baker AH, Kalb DW, Bergstrom GC (2009) Characterization of *Fusarium oxysporum* f.sp. *loti* forma *specialis* nov., a monophyletic pathogen causing vascular wilt of birdsfoot trefoil. *Plant Disease* 93, 58-66.

Yeh FC, Yang RC, Boyle TBJ, Yeh ZH and Mao JX (1997) POPGENE, the user friendly software for population genetic analysis, Molecular Biology and Biotechnology Centre, University of Alberta, Alberta, Canada.

Yue G, Li Y, Chen F, Cho s, Lim LC, Orban L (2002) Comparison of three DNA marker systems for assessing genetic diversity in Asian arowana (*Scleropages formosus*). *Electrophoresis* 23, 1025-1032.

Zamani MR, Motallebi M, Rostamian A (2004) Characterization of Iranian isolates of *Fusarium oxysporum* on the basis of RAPD analysis, virulence and vegetative compatibility. *Journal Phytopathology* 152, 449-453.

Zhou S, Smith DR, Stanosz GR (2001) Differentiation of *Botryosphaeria* species and related anamorphic fungi using inter simple or short sequence repeat (ISSR) fingerprinting. *Mycological Research* 105, 919–926.

TENTANG PENULIS



Arthur G Pinaria, PhD, saat ini adalah dosen tetap pada Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi, Manado. Lulus program sarjana bidang Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi, Manado pada tahun 1990. Tahun 1996 lulus dari program Magister Pascasarjana Universitas Padjajaran Bandung bidang Ilmu Tanaman. Tahun 2010 lulus program Doktor dari Faculty of Agriculture , Food and Natural Resources , The University of Sydney Australia bidang Patologi Tanaman. Saat ini diberi tugas tambahan sebagai Wakil Direktur Bidang Akademik di Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi.