SURATMAN SUDJUD, lahir di Ternate 5 Januari 1976 anak dari Ayah Hasan Sudjud (Almarhum) dan Ibu Hj. Samira Ajudin. Menyelesaikan pendidikan SD hingga SMP di Ternate lulus tahun 1991. SMA Negeri 1 Ambon lulus tahun 1994. Studi program sarjana pada fakultas pertanian program studi hama dan penyakit Universitas Pattimura Ambon 1994 dan pada tahun 1999 pindah di Universitas Haluoleo Kendari pada program studi yang sama dan lulus pada tahun 2000. Menyelesaikan Program Magister (S2) tahun 2007 dan Doktor (S3) tahun 2013 di Universitas Brawijaya Malang.

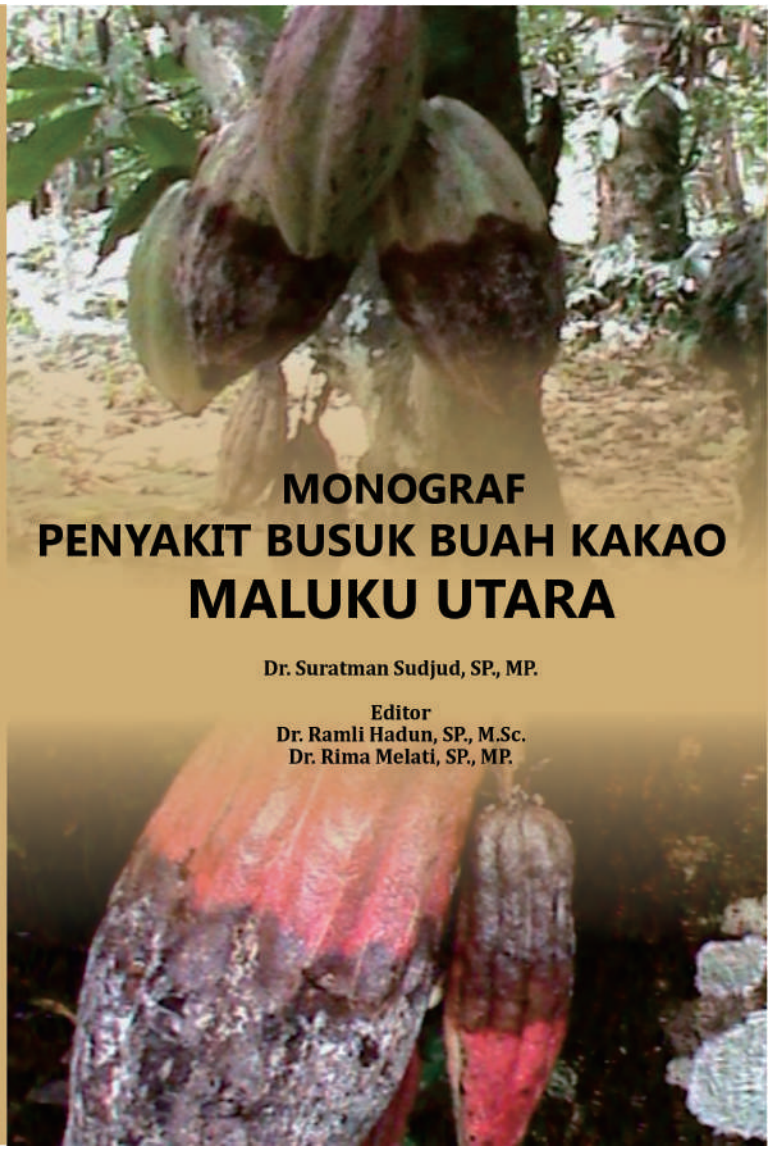
Pada tahun 2002 diangkat sebagai staf pengajar pada Fakultas Pertanian Universitas Khairun Ternate. Pengalaman kerja baik di kampus diawali sebagai sekretaris jurnal Cannarium Fakultas Pertanian Unkhair Ternate (2003-2004), Ketua program studi Agronomi Fakultas Pertanian (2004-2005), Pembantu Dekan Bidang Akademik (2008-2010), Ketua Pusat Penjaminan Mutu Universitas Khairun (2013-2018), Direkur Program Pascasarjana (2017-2018), Wakil Rektor Bidang Akademik (2018-2022), dan Ketua Lembaga Pengembangan Pendidikan dan Penjaminan Mutu (LP3M) Universitas Khairun (2022-2026). Aktif pada beberapa pusat kajian di Universitas Khairun dan Ketua Pusat Studi Pemberdayaan Masyarakat dan Sumberdaya Alam, serta organisasi profesi Phytopatologi Indonesia Wilayah Maluku Utara. Aktif sebagai pekerja sosial pada Lembaga Mitra Lingkungan (LML) Maluku Utara sejak tahun 2000 dan saat ini sebagai Direktur LML Maluku Utara (2013-sekarang). Aktif pada kegiatan penelitian, pelatihan, seminar, dan lokakarya baik lokal, regional, nasional maupun internasional.

PENERBIT
CV RIZMEDIA PUSTAKA INDONESIA
Jl. Batara Ugi/Griya Astra Blok C. No.18
(Yogyakarta/Makassar)
Telp/Wa:085242065812
Email: rizmediapustaka@gmail.com
Website: rizmediapustakaindonesia.com

ISBN 978-623-8050-07-9
9 786238 050079

IKAPI
035/SSL/2022

MONOGRAF PENYAKIT BUSUK BUAH KAKAO MALUKU UTARA



MONOGRAF PENYAKIT BUSUK BUAH KAKAO MALUKU UTARA

Dr. Suratman Sudjud, SP., MP.

Editor
Dr. Ramli Hadun, SP., M.Sc.
Dr. Rima Melati, SP., MP.

MONOGRAF
PENYAKIT BUSUK BUAH KAKAO MALUKU UTARA

Dr. Suratman Sudjud, SP., MP.

PENERBIT

Rizmedia
Pustaka Indonesia

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf

a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

i Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
ii Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
iii Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
iv Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

MONOGRAF
PENYAKIT BUSUK BUAH KAKAO MALUKU UTARA

Penulis : Dr. Suratman Sudjud, SP., MP.

Editor : Dr. Ramli Hadun, SP., M.Sc.
Dr. Rima Melati, SP., MP.

Layout & Desain Cover : Tim creative Rizmedia

Ukuran unesco (15,5 x 23 cm)

Halaman : x +104

Isbn : 978-623-8050-07-9

RIZMEDIA PUSTAKA INDONESIA
Redaksi :
Jl. Batara Ugi Blok/Griya Astra
Blok C. No.18 (Yogyakarta/Makassar)
IKAPI : 035/SSL/2022
Telp/Wa:085242065812
Email:rizmediapustaka@gmail.com
Website : www.rizmediapustakaindonesia.com

Cetakan Pertama, Desember 2022

Hak Cipta 2022 @Rizmedia Pustaka Indonesia
Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit atau Penulis.

PRAKATA

Alhamdulillah, segala puji dan syukur tak terhingga penulis haturkan kepada Illahi Rabb Tuhan Yang Maha Kuata atas segala karunianya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku monograf yang berjudul " Penyakit Busuk Buah Kakao Maluku Utara". Buku ini disusun atas dasar keilmuan penulis dalam bidang ilmu phtopatologi (ilmu penyakit tumbuhan) yang telah melakukan berbagai penelitian yang terkait dengan komoditas kakao, dan tentunya menjadi salah satu komoditas yang banyak diminati petani di Maluku Utara.

Ulasan buku ini memuat secara spesifik penyakit busuk buah kakao yang ditulis dalam 8 (delapan) bab. Bab ***pertama*** berisi pendahuluan yang terdiri dari sejarah tanaman kakao di Indonesia pada umumnya dan di Maluku Utara khususnya serta permasalahan penyakit busuk buah kakao serta tujuan penyusunan buku ini. Bab ***kedua*** berisi budidaya tanaman kakao mencakup sistimatika syarat tumbuh tanaman kakao, pola tanam kakao di areal perkebunan rakyat di Maluku Utara, dan perkembangan komoditi kakao di Indonesia dan Maluku Utara. Bab ***ketiga*** berisi pre riset penyakit busuk buah kakao, metodologi penetian sebaran penyakit busuk buah kakao di Maluku Utara dan hubungan factor cuaca terhadap intensitas penyakit busuk buah kakao diserta bagaimana melakukan penelitian dilapangan dan laboratorium serta memodifikasi alat untuk mengukur cuaca dan penangkapan spora dilapangan. Bab ***keempat*** khusus berisi jamur penyebab penyakit busuk buah kakao *Phytopthora palmivora* dan bioekologinya. Bab ***kelima*** dan ***keenam*** adalah bagian terpenting dalam buku ini karena khusus mengulas sebaran penyakit busuk buah kakao pada areal perkebunan rakyat di Maluku Utara, bagaimana intensitas serangan dilapangan berdasarkan gejala yang ditimbulkan, seberapa besar intensitas penyakit busuk buah kakao di Maluku Utara, bagaimana menangkap spora jamur penyebab penyakit dilapangaan berdasarkan alat-alat yang dimodifikasi, bagaimana melakukan mengukuran faktor cuaca dilapangan, tentunya

menjadi ulasan spesifik disertai dengan gambar. Pada bagian ini juga dijelaskan secara detail seberapa besar factor cuaca memberikan kontrbusi dominan dan secara langsung terhadap perkembangan penyakit busuk buah kakao, dan hal yang menarik tentunya pada bagian ini pula terdapat temuan-temuan kebaharuan dari penulis yang dapat digunakan dalam melakukan peramalan penyakit busuk buah diwaktu mendatang. Bab ***ketujuh*** berisi pengelolaan penyakit busuk buah kakao berdasarkan konsep epidemiologi.

Bagian terakhir adalah bab ***kedelapan*** yaitu penutup, yang tentunya menyimpulkan seluruh bagian dari struktur isi buku ini termasuk kebaharuan memperoleh model matematik persamaan regresi berganda pengaruh factor cuaca dan jumlah spora terhadap intensitas penyakit busuk buah dan model matematik persamaan regresi parsial pengaruh jumlah spora terhadap intensitas penyakit busuk buak kakao.

Harapan penulis tentunya kehadiran buku yang saat ini digenggam, oleh para khalayak pembaca, terutama penyuluh pertanian, akademisi, mahasiswa pertanian, praktisi pertanian, serta para petani, semoga buku ini dapat bermanfaat dalam khasanah ilmu pengetahuan saat ini dan dimasa mendatang.

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR TABEL viii

DAFTAR GAMBAR ix

Bab 1 Pendahuluan 1

1.1 Sejarah Tanaman Kakao 2

1.2 Permasalahan Penyakit Busuk Buah Kakao 4

BAB 2 BUDIDAYA TANAMAN KAKAO 10

2.1 Sistimatika Tanaman Kakao 11

2.2 Sifat kimia tanah 15

2.3 Sifat biologi tanah 16

2.4 Kandungan bahan organik tanah 16

BAB 3 PRE RISET TENTANG PENYAKIT BUSUK BUAH KAKAO RAKYAT MALUKU UTARA 27

3.1 Penelitian sebaran intensitas serangan penyakit busuk buah kakao di Maluku Utara 28

3.2 Penelitian Hubungan Faktor Cuaca dengan Perkembangan Penyakit Busuk Buah Kakao 35

BAB 4 JAMUR *Phytophthora palmivora* 49

4.1. Bioekologi jamur patogen *Phytophthora palmivora* 50

BAB 5 SEBARAN PENYAKIT BUSUK BUAH KAKAO 55

PERKEBUNAN RAKYAT DI MALUKU UTARA 55

5.1. Insidensi Penyakit Busuk Buah Kakao 56

5.2. Intensitas Penyakit Busuk Buah Kakao 58

5.3. Gejala penyakit busuk buah kakao 60

5.4. Patogen Penyebab penyakit 63
5.5. Faktor-faktor yang Mempengaruhi 64
BAB 6 HUBUNGAN FAKTOR CUACA TERHADAP INTENSITAS PENYAKIT 69
6.1. Intensitas penyakit busuk buah kakao 70
6.2. Model hubungan cuaca terhadap penyakit busuk buah .. 74
BAB 7 PENGELOLAAN PENYAKIT BUSUK BUAH KAKAO 91
7.1. Pengelolaan penyakit busuk buah secara epidemiologi . 92
7.2. Model perkembangan penyakit 93
BAB 8 PENUTUP 101
8.1. Kesimpulan 102
DAFTAR PUSTAKA 103
Profil Penulis 112

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Katagori Penilaian Keparahan Penyakit Busuk Buah Kakao ……..	34
Tabel 5.1	Data Analisis Perbandingan Kejadian Penyakit ……	57
Tabel 5. 2	Data Analisis Perbandingan Intensitas Penyakit……...	60
Tabel 6.1.	Analisis perbandingan intensitas penyakit antar lokasi pengamatan ……..	71
Tabel 6.2	Pengamatan Cuaca dan Jumlah Spora Terhadap Intensitas Penyakit (%) Pada Ketinggian 140-149 Mdpl …….	76
Tabel 6.3	Koefisien Path Hubungan Antara Faktor Cuaca dan Jumlah Spora Terhadap Intensitas Penyakit Busuk Buah Kakao Pada Ketinggian Tempat 140-149 Mpdl…	78
Tabel 6.4	Koefisien Path Hubungan Antara Factor Cuaca Dominan Terhadap Intensitas Penyakit Pada Ketinggian Tempat 140-149 Mdpl …….	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Luas Areal (Ha) dan Produksi di Indonesia (Ton) ……..	26
Gambar 2.2	Luas Areal (Ha) dan Produksi di Maluku Utara (Ton) ……	26
Gambar 3.1	Petak Percobaan dan Tanaman Sampel ….	31
Gambar 3.2	Petak Percobaan dan Tanaman Sampel ….	38
Gambar 3.3	Wet And Dry Thermometer (A); Thermometer Max-Min (B); Enviroment Meter (C), Penakar Hujan Ombrometer (D); Modifikasi Penakar Hujan Ombrometer (E-F) ……	41
Gambar 3.4	Alat Penangkap Spora Model Durham (A), yang dimodifikasi (B) …….	43
Gambar 3.5	Pengamatan Jumlah Spora Pada Setiap Gelas/Objek (cm^2) ..……...	44
Gambar 3.6	Diagram Jalur Pengaruh Fakor Cuaca (X_1, X_2…X_n) Terhadap Intensitas Penyakit Busuk Buah Kakao (Y) ……	48
Gambar 4.1	*P. palmivora* (A), Sporangium (B) dan Klamidospora (B) ……	51
Gambar 4.2	Siklus Hidup *Phytophthora palmivora* …..	53
Gambar 5.1	Rata-rata Kejadian Penyakit Busuk Buah Kakao …….	56
Gambar 5.2	Rata-rata Intensitas Penyakit Busuk Buah Kakao ……..	58
Gambar 5.3	Gejala Penyakit Busuk Buah Kakao (A) Buah Terinfeksi (B), Biji Buah Terinfeksi (*C*), Buah Matang Sehat (D), Biji Buah Matang Sehat (e) ……	61
Gambar 5.4	Buah Kakao Terinfeksi *P. palmivora* (A), Variasi Ukuran Sporangium (B) 25,4 - 39,8 µm X 19,3 - 24,7 dan Klamidospora (c) ……..	63
Gambar 5.5	Perubahan kerentanan tanaman dari segi umur. ….…….	66

Gambar 6.1 Rata-rata Intensitas Penyakit (%) ……. 71
Gambar 6.2 Model Pola Hubungan Jumlah Spora Terhadap Intensitas Penyakit ……... 84
Gambar 6.3 Model Pola Hubungan Curah Hujan Terhadap Jumlah Spora ……. 86
Gambar 6.4 Model Pola Hubungan Suhu Udara Terhadap Jumlah Spora ……. 88
Gambar 6.5 Model Pola Hubungan Suhu Udara Terhadap Kelembaban ...…… 89
Gambar 7.1 Kurva Perkembangan Penyakit Secara Umum …… 100
Gambar 7.2 Kurva Perkembangan Penyakit Monomolecular, Eksponensial, Logistik dan Model Gompertz …… 100

Bab 1
Pendahuluan

1.1 Sejarah Tanaman Kakao

Tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) berasal dari hutan-hutan tropis di Amerika Tengah dan Amerika Selatan bagian utara. Penduduk yang pertama kali mengusahakan tanaman kakao serta menggunakannya sebagai bahan makanan dan minuman adalah suku Indian Maya dan suku Aztec. Di Indonesia, tanaman kakao diperkenalkan oleh bangsa Spayol pada tahun 1560 di Minahasa Sulawesi Utara (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, 2010).

Jenis kakao yang pertama masuk ke Indonesia adalah varietas Criollo yang diimpor dari Filipina. Pada abad ke–18, budidaya kakao dikembangkan di Indonesia tepatnya di wilayah Minahasa Sulawesi Utara. Konsep budidaya pada saat itu dilakukan pada lahan yang sempit dan hasilnya untuk dikonsumsi penduduk setempat. Laporan mengenai kakao di Indonesia, pertama kali diperoleh pada saat pertemuan komunitas Seni dan ilmuan Batavia. Dalam pertemuan tersebut, memberikan penghargaan kepada orang yang pertama kali secara sukarela mengembangkan tanaman kakao dikebunnya minimum 50 pohon. Pemberian penghargaan ini, merupakan salah satu upaya untuk mendorong produksi pertanian dan industri. Setahun kemudian medali perak diberikan kepada D. Duvau De Lalongue, salah seorang dari komunitas tersebut, yang telah menanam pohon kakao disebagian kebun tebunya yang belum ada tanamannya di Salapanjang (Jakarta) sepanjang sungai Tsidani (Cisedane). Sayangnya dalam laporan tersebut tidak di sebutkan asal bahan tanaman yang diperoleh oleh D. Duvau De Lalongue. Terdapat asumsi bahwa benih kakao tersebut berasal dari Minahasa (Sulawesi Utara) yang dibawah oleh orang-orang setempat yang melakukan perdagangan.

Pengusaha perkebunan yang pertama kali mengirimkan kakao sebagai produk ekspor adalah pekebun dari Minahasa (Sulawesi Utara). Produk tersebut dipasarkan di Manila. Pada waktu itu Manado merupakan pusat pengumpulan hasil berupa biji kakao. Jansen melaporkan bahwa perkembangan tersebut dimulai pada tahun 1822, yaitu ketika para pedagang dari Manila datang ke Manado. Penduduk setempat, khususnya orang-orang Eropa dan Cina yang ada di Minahasa memberikan

tanggapan positif dengan membangun kebun kakao, yang kemudian diikuti oleh petani asli daerah tersebut.

Perluasan tanaman kakao di Minahasa Sulawesi terjadi pada tahun 1820. Ekspor biji kakao dari pelabuhan Manado ke Filipina pertama kali dilakukan pada tahun 1825. Pada tahun 1830 ekspor dari daerah tersebut telah mencapai sekitar 50 ton (Toxopeus dan Giesberger, 1983 *dalam* Sudarmadji, 1989) dan terus meningkat hingga mencapai 92 ton pada tahun 1838, akan tetapi selanjutnya menurun hingga hanya sebesar 30 ton pada tahun 1919. Pada tahun 1930 ekspor biji kakao dari Manado sama sekali berhenti (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, 2010).

Di Maluku Utara, budidaya tanaman kakao telah ada sejak tahun 1829 (van Hall, 1949), dan penanaman kakao lanjutan pada awal tahun 1840. Pada mulanya hasilnya kurang memberikan harapan. Dari 12 ribu pohon pada tahun 1853 hanya dapat diekspor sebanyak 100 kg biji kakao. Menurut val Hall, pada tahun 1859 sudah terdapat 10.000 – 12.000 pohon tanaman kakao di Ambon dengan produksi 11,6 ton kakao. Pada tahun 1863 jumlah pohon bertambah menjadi sekitar 400 ribu, dan hampir setengahnya dimiliki oleh petani kecil dan ekspor ke Manila pada waktu itu mencapai 7 ton. Namun kemudian tanamannya hilang tanpa ada informasi lebih lanjut. Di Ternate (Maluku Utara) terdapat 2000 pohon kakao, tetapi mengalami kehancuran oleh serangan hama, yaitu Helopeltis sp. dan penggerek buah kakao (PBK) seperti kejadian di Minahasa.

Pada tahun 1880, dimasukan lagi tanaman kakao jenis Forastero dari Venezuela. Jenis ini dikenal dengan daya hasil yang tinggi, dan relatif tahan terhadap serangan hama dan penyakit, akan tetapi rasanya pahit. Lebih lanjut dilaporkan oleh Van der knaap (1953) bahwa pada tahun 1888 juga dimasukan jenis Criollo dari Venezuela yang nantinya dikenal dengan Java Criollo. Jenis inilah yang merupakan tetua dari klon Trinitario djati Roenggo (nomor-nomor DR) yang ada sekarang.

Rusaknya pertanaman kopi arabika di Jawa tengah dan Jawa Timur karena terserang jamur *Hemelia vastatrix* pada sekitar tahun 1880 menyebabkan para pekebun kopi menanam kakao. Keberhasilan pertama tersebut kemudian diikuti oleh penanaman berikutnya, sehingga pada tahun 1930 pertanaman

kakao di kepulauan nusantara sebagian besar terdapat di Jawa. Hal ini terihat dari perbandingan ekspor biji kakao yang mencolok, yaitu dari jawa sebanyak 1.408 ton dan dari luar jawa 55 ton. Daerah penghasil kakao yang agak luas diluar jawa pada saat itu adalah Payah Kumbuh di Sumatera Barat. Meskipun penanaman kakao dikepulauan nusantara sudah dimulai pada pertengahan abad ke 16, tetapi kegiatan penelitian baru dimulai pada permulaan abad 20. Pada dasawarsa 1980-an terjadi perluasan pertanaman kakao yang sangat pesat di Indonesia. Perluasan tersebut lebih banyak diarahkan keluar pulau Jawa, yang meliputi pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Maluku dan Maluku Utara serta Irian Jaya.

1.2 Permasalahan Penyakit Busuk Buah Kakao

Masalah yang dihadapi dalam pembudidayaan tanaman kakao menurut komisi kakao Indonesia antara lain;

a) Produktivitas kebun yang masih rendah, rata-rata produktivitas baru mencapai kurang lebih 900 kg/ha/th, hal tersebut disebabkan terutama karena komposisi peranaman kakao belum menggunakan klon unggul sesuai anjuran;
b) Kerugian produksi karena serangan hama dan penyakit kakao mencapai 30 sampai 40% serta sebagian tanaman kakao adalah tanaman tua dan rusak;
c) Lemahnya kelembagaan petani kakao, sehingga posisi tawar lemah;
d) Belum terkuasainya teknologi tepat guna dan kesadaran akan mutu, sehingga kurang memperhatikan produksi yang dihasilkan;
e) Mutu produksi masih rendah dan pengembangan produk hilir masih rendah;
f) Masalah kebijakan seperti kontaversi pro dan kontra terhadap pengenaan pungutan ekspor (PE) dan pajak pertambahan nilai (PPN).

Rendahnya produktivitas, antara lain disebabkan karena pengelolaan kebun secara tradisional (sebagian besar perkebunan rakyat), dan umur tanaman kakao yang sudah tua (diatas 25 tahun). Menurut Rittrbusch dan Muhlbauer (2001),

bahwa tidak adanya fermentasi merupakan salah satu faktor kunci yang mempengaruhi mutu kakao Indonesia.

Berbagai masalah dan kendala dalam pembudidayan kakao yang telah disebutkan diatas, salah satu masalah yang dihadapi dalam usaha meningkatkan produksi kakao adalah adanya kematian pentil kakao (buah yang sangat muda) yang diatur oleh tanaman itu sendiri dalam usaha mengurangi jumlah buah sampai ke tingkat yang sesuai dengan daya dukung tanaman (Nichols, 1965). Dari segi fisiologi gejala layu pentil kakao serupa dengan gugur buah pada beberapa tanaman seperti apel, mangga, dan jeruk. Perbedaannya ialah bahwa pentil kakao yang layu tidak gugur melainkan tetap bergantung pada tanaman. Buah yang mengalami layu pentil kakao secara visual ditandai oleh perubahan warna dari semula hijau atau merah muda menjadi kuning muda, kemudian cokelat dan akhirnya berubah menjadi hitam, keras dan kering.

Layu pentil kakao dapat terjadi pada setiap pentil yang umurnya kurang dari 85 hari, dan stadium yang paling peka ialah sewaktu pentil berada dalam periode umur 50 hari sejak terjadinya pembuahan (Nichols, 1965). Buah yang mampu tumbuh sampai umur 70 hari mempunyal peluang yang besar untuk tumbuh terus sampai masak, dengan catatan tidak rusak oleh sebab lain seperti serangan hama atau penyakit. Ukuran buah yang berumur sekitar 70 hari bervariasi tergantung dari tipe tanaman kakao, periode pembentukan buah, dan tingkat kesuburan tanah di tempat tumbuh tanaman tersebut. Pada kakao tipe Forastero, buah yang berumur 70 hari ukuran panjang ±10cm (Humphries, 1943). Hal yang sama juga terdapat pada kakao tipe Amelonado, sedang pada kakao tipe Amazon Hulu dan Trinitario ukuran panjang buah masing-masing adalah ± 11 cm dan 15 cm (McKelvie, 1956). Buah yang terbentuk dalam periode lebih awal, pada umur yang sama lebih panjang dari pada buah yang terbentuk dalam periode berikutnya.

Tinggi rendahnya persentase buah kakao yang mengalami layu pentil dipengaruhi oleh tipe dan umur tanaman kakao. Tingkat layu pentil kakao pada tanaman muda umumnya lebih tinggi dibandingkan pada tanaman tua (Humphries, 1943). Setiap kali tanaman kakao membentuk pucuk dengan intensitas yang tinggi, tingkat layu pentil umumnya juga tinggi

(Humphries, 1943; McKelvie, 1956). Sewaktu pada tanaman kakao terdapat banyak buah-buah besar, tingkat layu pentil juga tinggi (Alvlm, Machado dan Velio, 1974).

Salah satu penyakit penting pada tanaman kakao yang menyebabkan penurunan hasil produksi baik di wilayah Provinsi Maluku Utara dan Indonesia pada umumnya maupun negara-negara penghasil kakao di dunia adalah penyakit busuk buah kakao (*pod rot*). Patogen penyebab penyakit busuk buah pada tanaman kakao adalah *Phytophthora* spp. Spesies *Phytophthora* yang menyebabkan penyakit pada tanaman kakao adalah *P. palmivora, P. megakarya, P. citrophthora, P. capsici, P. katsurae, P. megasperma, P. arecae* dan *P. nicotianae.* Berbagai spesies *Phytophthora* tersebut, yang menyebabkan kehilangan hasil terbesar pada kakao adalah *P. palmivora, P. megakarya,* dan *P. citrophthora* (Mcmahon dan Purwantara, 2004).

Spesies *Phytophthora* yang menimbulkan penyakit busuk buah kakao di Indonesia adalah *Phytophthora palmivora*. Secara umum, kerugian penyakit busuk buah di dunia diperkirakan mencapai 20 – 30 % dari produksi kakao setiap tahun (Djocgoue e*t al.,* 2010). Kerugian juga dapat mencapai 90% jika teknik budidaya (varietas) dalam jangka waktu yang lama serta faktor lingkungan mendukung (Iwaro *et al.,* 2005). Kerugian penyakit busuk buah di Indonesia berbeda antara kebun yang satu dengan kebun yang lain, dan bervariasi antara 26 - 50% (Sukamto, 1985 dan Semangun, 2000). Menunrut Sudjud,2009, bahwa intensitas serangan hama dan penyakit pada kakao rakyat di Maluku Utara mencapai 62 % dan besarnya kehilangan hasil mencapai 47 %.

Upaya memperkecil peluang terjadinya infeksi penyakit busuk buah kakao menjadi penting untuk dilakukan. Ada dua faktor yang diidentifikasi berpengaruh terhadap ekspresi kerentanan tanaman kakao terhadap *P. palmivora,* yaitu tingkat kelebatan buah dan kemampuan tanaman menghindari infeksi *P. palmivora* (Susilo *et al*., 2002). Faktor lainnya yang dapat memperkecil infeksi adalah menekan potensi sumber inokulum *Phytophthora palmivora* yang tersedia pada ekosistem pertanaman kakao.

Perkembangan penyakit busuk buah kakao ialah pertambahan jumlah buah yang bergejala atau pertambahan jumlah buah sakit pada setiap tanaman yang umumnya akan

menimbulkan gejala, dan proses ini akan memakan waktu. Makin lama proses interaksi tersebut berlangsung, biasanya makin besar intensitas penyakit yang ditimbulkan. Secara kuantitas, perkembangan penyakit menurut waktu pada umumnya akan mengikuti suatu pola yang bentuknya tergantung pada jenis penyakit, inang dan keadaan lingkungan. Setiap peningkatan penyakit dalam suatu populasi dan mempengaruhi banyak individu dalam populasi yang meliputi areal yang relatif luas dan dalam waktu yang relatif pendek disebut epidemi. Perkembangan penyakit tersebut, perlu diukur dan dianalisis. Pendekatan atau metodologi yang dapat digunakan untuk menganalisis epidemi penyakit dikelompokkan menjadi tiga pendekatan yaitu pertama, epidemi penyakit digambarkan dalam bentuk kurva perkembangan penyakit misalnya menggunakan model. Kedua, menduga besaran (*quantifier*) penyakit, misalnya area dibawah kurva perkembangan penyakit, dan ketiga, menggunakan nilai variabel komponen struktur epidemi dibandingkan dengan analisis statistik. Unsur struktur sistem epidemi bersumber dari interaksi inang dan patogen (Rivai, 2009). Faktor lingkungan dan rekayasa manusia adalah bagian dari sistem ini dengan peranannya mendorong atau menghambat perkembangan penyakit. Sehingga pengetahuan tentang epidemi suatu penyakit terlebih dahulu harus mengetahui komponen struktur epidemi yang terdiri dari subsistem, elemen dan variabel. Misalnya penyakit busuk buah kakao sebagai subsistem dari patogen adalah *P. palmivora*, elemen-elemen diantaranya patogenitas dengan variabel cara menginfeksi. Dengan demikian, semakin banyak kita mengetahui komponen struktur epidemi suatu penyakit, semakin mudah kita mengukur, memprediksi dan meramalkannya dengan ketepatan yang sangat baik.

Pengetahuan mengenai perkembangan penyakit busuk buah kakao dan besarnya kerugian akibat kehilangan hasil perlu diketahui, agar dapat diprediksi kemungkinan terjadi wabah penyakit yang menimbulkan kerugian hasil yang lebih besar. Selain itu, memungkinkan kita untuk dapat menentukan kapan, dan bagaimana pengelolaan harus dilakukan. Peramalan, akan memberikan arahan pada penggunaan manajemen pengelolaan atau teknik budidaya yang tepat. Ada tiga prinsip dalam

menentukan perlunya melakukan peramalan untuk penyakit yaitu (i) penyakit yang memiliki arti ekonomi penting baik secara kualitas maupun kuantitas, (ii) beberapa aspek penyakit bervariasi diantara musim, dan (iii) pengendalian penyakit dapat dilaksanakan dan secara ekonomis sangat menguntungkan.

Penyakit busuk buah kakao, pada kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa intensitas penyakit busuk buah kakao tidak selalu sama dari waktu ke waktu dan dari suatu tempat ke tempat lainnya. Fluktuasi intensitas penyakit busuk buah kakao tersebut diduga dipengaruhi oleh inokulum patogen penyebab penyakit yang tersedia, keadaan pertanaman yang berbeda-beda misalnya, varietas yang dibudidayakan dan keadaan faktor lingkungan di sekitarnya terutama kelembaban udara, suhu udara, curah hujan, hari hujan, kecepatan angin, dan lamanya penyinaran serta aktivitas manusia terutama berhubungan dengan kegiatan bercocok tanam dan pengendalian penyakit. Beberapa dugaan tersebut diasumsikan mempengaruhi fluktuasi perkembangan epidemi penyakit busuk buah kakao dalam hal pengurangan dan penambahan laju epidemi.

Epidemi dapat digambarkan dengan berbagai cara, tetapi yang umum digunakan adalah dengan urutan intensitas penyakit yang dikumpulkan menurut waktu. Kunci untuk memahami epidemi ialah dengan jalan mengkuantifikasi perkembangan epidemi tersebut terhadap waktu. Kuantifikasi dilakukan dengan jalan menggunakan model. Model dibangun untuk memperoleh informasi dari suatu sistem yang memberikan gambaran mengenai keadaan sebenarnya (*real situation*), menjelaskan perkembangan suatu populasi patogen dan representasi abstrak dari suatu proses perkembangan yang dapat diilustrasikan dalam bentuk verbal, grafik atau persamaan matematika. Model juga diketahui dapat meramalkan kemungkinan intensitas penyakit yang akan terjadi pada suatu waktu (Sastrahidayat, 2012).

Berdasarkan uraian tentang penyakit busuk buah (*pod rot*) dengan besarnya intensitas serangan penyakit pada tanaman kakao di semua wilayah penghasil kakao dan variasi kerusakan yang berbeda pada masing-masing negara, wilayah, antar lokasi maupun cara bercocok tanam, maka penulis sangat meyakini pentingnya menyusun suatu buku referensi sebagai pengetahuan bersama mengenai perkembangan penyakit busuk buah kakao di

Maluku Utara sehingga dapat dijadikan dasar strategi dan manajemen pengelolaan yang tepat dalam pembudidayaan tanaman kakao rakyat di wilayah provinsi Maluku Utara.

Tujuan penulisan buku ini adalah memberikan gambaran kejadian dan intensitas serangan penyakit busuk buah kakao di Maluku Utara pada areal perkebunan kakao rakyat, berdasarkan aspek pola tanam yang dilakukan petani, aspek perkembangan penyakit, aspek kehilangan hasil, aspek peramalan/prediksi penyakit busuk buah diwaktu mendatang berdasarkan kondisi lingkungan, serta aspek strategi pengelolaan. Penulis juga sangat mengharapkan buku referensi ini dapat dijadikan acuan bagi penyuluh pertanian, instansi terkait, praktisi pertanian, dan mahasiswa yang mendalami ilmu pertanian khususnya bidang proteksi tanaman dalam pengelolaan tanaman kakao maupun tanaman budidaya lainnya dimasa mendatang.

BAB 2
BUDIDAYA TANAMAN KAKAO

2.1 Sistimatika Tanaman Kakao

A. Syarat Tumbuh

1. Iklim

Faktor iklim penting bagi pertumbuhan tanaman kakao meliputi sinar matahari, curah hujan, suhu, kelembaban udara, dan angin.

1.1. Sinar matahari

Pada tanaman kakao, laju fotosintesis berkurang jika intensitas sinar matahari melebihi 0,75 kal/cm^2/menit (Lemee *cit*. Alvim, 1977 *dalam* Abdoellah dan Sudarsono, 1996). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan kakao terbaik dicapai pada intensitas sinar matahari sebesar 30 – 60% sinar matahari penuh, atau sekitar 0,35 – 0,70 kal/cm^2/menit pada kondisi seperti di kebun percobaan Kaliwining (Abdoellah dan Sudarsono, 1996).

Menurut Susanto (1994), bahwa tanaman muda yang baru ditanam memerlukan sinar matahari sekitar 25 – 35 % dari sinar matahari penuh. Pada tanaman dewasa yang sudah berproduksi kebutuhan sinar matahari makin besar yaitu 65 – 75 %. Pemanfaatan cahaya matahari semaksimal mungkin dimaksudkan untuk mendapatkan intersepsi cahaya dan pencapaian indeks luas daun (ILD) optimum. Hal ini perlu dilakukan pemangkasan tanaman kakao maupun pohon pelindung sehingga ILD optimum dapat dicapai.

1.2. Curah hujan

Pertumbuhan dan produksi kakao sangat ditentukan oleh ketersediaan air, sehingga kakao dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik di tempat yang curah hujannya relatif sedikit tetapi merata sepanjang tahun. Sebaran curah hujan lebih berpengaruh terhadap produksi kakao dibandingkan dengan jumlah curah hujan yang tinggi. Menurut Heddy (1991) sebaran curah hujan berhubungan dengan masa pembentukan tunas muda (*flushing*) dan produksi. Daerah produsen kakao umumnya memiliki curah hujan berkisar antara 1250 – 3000 mm per tahun.

Menurut Susanto (1994) pada daerah yang curah hujannya lebih rendah dari 1250 mm per tahun masih dapat ditanami kakao, tetapi dibutuhkan air irigasi. Hal ini disebabkan air yang hilang karena transpirasi akan lebih besar dari pada air yang diterima tanaman dari curah hujan. Sedangkan pada daerah yang curah hujannya melebihi dari 2500 mm per tahun akan meningkatkan serangan penyakit busuk buah (*P. palmivora)* dan *Vascular Streak Dieback* (VSD). Menurut Abdoellah dan Sudarsono (1996), bahwa tanaman kakao sangat menyukai dan tumbuh dengan baik pada lahan yang memiliki curah hujan cukup (1.500 – 2.000 mm/th) dan jumlah bulan kering tidak lebih dari tiga bulan.

1.3. Suhu

Pengaruh suhu pada kakao erat kaitannya dengan ketersediaan air, sinar matahari dan kelembaban. Faktor–faktor tersebut dapat dikelola melalui pemangkasan, penataan tanaman pelindung dan irigasi, karena hal ini sangat berpengaruh terhadap pembentukan flush, pembungaan, serta kerusakan daun. Proses pembentukan tunas dan daun muda pada kakao selain dipengaruhi oleh kandungan air di dalam tanah juga dipengaruhi oleh suhu. Daun muda terbentuk bila rata-rata suhu udara mingguan maksimum lebih dari 28 ^{0}C (Soedarsono, 1997). Suhu optimum untuk berlangsung fotosintesis kakao lindak 22,4 - 30,4^{0}C, dan kakao mulia 18,8^0 – 27,9^{0}C (Prawoto, 1998).

Proses fisiologi tanaman kakao dipengaruhi oleh suhu udara. Pada suhu yang rendah akan menghambat pembentukan tunas dan bunga, sedangkan pada suhu yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan pucuk dan mendorong pertumbuhan cabang serta mengakibatkan daun-daun kurang berkembang (Puslit Kopi dan Kakao, 2004). Pada suhu yang lebih rendah 10 ^{0}C, akan mengakibatkan gugur daun dan mengeringnya bunga, sehingga laju pertumbuhan berkurang (Siregar *et al*., 2003). Suhu maksimum antara 30 – 32^{0}C dan suhu minimum 18 – 21 ^{0}C merupakan kisaran terbaik bagi tanaman kakao (Abdoellah dan Sudarsono, 1996).

1.4. Kelembaban udara

Rata-rata kelembaban udara makin rendah dengan makin tinggi dari permukaan tanah, karena sumber penguapan adalah permukaan air atau permukaan tanah. Daerah penghasil kakao memiliki kelembaban udara relatif maksimum 70 sampai 80 % pada siang hari. Kelembaban yang rendah akan mempengaruhi kecepatan evapotranspirasi menjadi lebih cepat dan kelembaban yang tinggi sangat menunjang perkembangan jamur.

Curah hujan yang tinggi, 3-6 hari berturut-turut akan menyebabkan kelembaban udara tinggi dan munculnya jamur *P. Palmivora* yang menjadi penyebab penyakit busuk buah kakao (Puslit Kopi dan Kakao, 2004).

1.5. Angin

Kecepatan angin menentukan keberhasilan usaha tani kakao. Kecepatan angin yang tinggi dan berlangsung lama akan merusak daun kakao, sehingga menyebabkan rontoknya daun. Makin tinggi dari permukaan tanah gerakan udara (angin) makin cepat, sedangkan pada siang hari rata-rata 2 mil/jam lebih cepat daripada malam hari.

Adanya penaung maupun tanaman pokok akan mengurangi kecepatan gerakan udara, sedangkan perlakuan pemangkasan akan memungkinkan gerakan udara di dalam tajuk menjadi lebih leluasa. Menurut Susanto (1994), bahwa angin mulai merusak dan merugikan kakao apabila lebih dari 4 m/detik atau ± 5 Km tiap jam. Kecepatan angin yang ideal adalah 2,5 m/detik karena dapat membantu penyerbukan. Kecepatan angin sebaiknya kurang dari 4 m/detik dan tidak berlangsung terus menerus (Abdoellah dan Sudarsono, 1996). Untuk itu diperlukan pohon pelindung untuk mengurangi kecepatan angin.

2. Tanah

Tanah adalah produk transformasi mineral dan bahan organik yang terletak dipermukaan sampai kedalaman tertentu yang dipengaruhi oleh faktor-faktor genetik dan lingkungan, yaitu bahan induk, iklim, organisme hidup

(mikro dan makro), topografi dan waktu yang berjalan selama kurun waktu yang panjang, yang dapat dibedakan dari ciri-ciri bahan induk asalnya baik secara fisik, kimia, biologi, maupun morfologinya (Winarsih, 2005).

Sifat-sifat tanah yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman kakao adalah sifat fisik tanah, kimia, biologi tanah dan bahan organik tanah (Susanto, 1994). Sifat fisik tanah meliputi tekstur, struktur, konsistensi, dan kedalaman efektif tanah (solum). Sifat kimia tanah meliputi kadar unsur hara mikro dan makro, kejenuhan basa, KTK, pH, dan kadar bahan organik. Sifat tanah yang baik untuk pertumbuhan dan perkembangan kakao adalah berkedalaman tidak kurang dari 1,5 m, mengandung pasir 50%, debu 10-20%, lempung (clay) 30-40% dan BOT 3,5% (Abdoellah dan Sudarsono, 1996).

2.1. Sifat fisik tanah

Kakao juga menghendaki tanah yang mudah diterobos oleh akar tanaman, dapat menyimpan air, terutama pada musim hujan, drainase dan airasenya baik. Tekstur tanah yang baik untuk tanaman kakao adalah lempung liat berpasir dengan komposisi 30 – 40 % liat, 50 % pasir, dan 10 – 20% debu. Struktur tanah yang remah dengan agregat tanah yang mantap menciptakan gerakan air dan udara di dalam tanah sehingga menguntungkan bagi akar. Tanah lotosol dengan fraksi liat yang tinggi kurang baik untuk tanaman kakao, sedangkan tanah regosol dengan tekstur lempung liat walaupun mengandung kerikil, masih baik untuk tanaman kakao (Siregar *et al.*, 2003).

Perakaran kakao pada umumnya dapat mencapai kedalaman 1–1,5 m untuk agar tunggang dan 30 cm untuk akar lateral yang sebagian besar terdapat pada tanah lapisan atas. Maka untuk memperoleh perakaran yang baik, yang mampu mengabsorpsi unsur hara dan air, tahan pada kekeringan, dan tidak mudah rebah, diperlukan kedalaman efektif tanah sekitar 1,5 meter dan kedalaman air tanah minimal 3 m (Susanto, 1994).

Peningkatan bahan organik tanah penting dalam perbaikan sifat-sifat fisik tanah, terutama melalui peningkatan ukuran dan stabilitas agregat. Terjadinya peningkatan ukuran

dan stabilitas agregat berpengaruh langsung atau tidak langsung terhadap sifat fisik tanah lainnya, antara lain peningkatan kapasitas resistensi air dan jumlah air tersedia, peningkatan pori makro dan meso, peningkatan porositas total, peningkatan aerasi dan peningkatan permeabilitas serta infiltrasi. Dalam pembentukan agregat, BOT berfungsi sebagai pengikat butiran-butiran tanah (pasir, debu dan liat). Selain peranan langsung dalam pembentukan dan stabilitas agregat tersebut, BOT juga berperan secara tidak langsung terhadap perubahan sifat fisik tanah, yaitu melalui fungsinya sebagai sumber energi bagi organisme tanah, sehingga aktifitas dan perkembangan organisme tanah tersebut berpengaruh terhadap agregasi (Pujiyanto, 2004).

2.2 Sifat kimia tanah

Di dalam tanah, bahan organik akan mengalami dekomposisi dan mineralisasi yang dilakukan oleh mikroorganisme tanah. Hasil dekomposisi bahan organik dapat berupa senyawa organik yang relatif resisten terhadap dekomposisi selanjutnya yang disebut senyawa humus dan senyawa organik lain dan sebagian akan dilepaskan sebagai unsur hara yang dapat dimanfaatkan kembali oleh tanaman. Humus memiliki muatan negatif dan muatan positif yang seluruhnya merupakan muatan tergantung pH (Pujiyanto, 2004).

Tanaman kakao dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang memiliki kemasaman (pH) 6 – 7,5, tidak lebih tinggi dari 8 serta tidak lebih rendah dari 4. Pada pH yang lebih tinggi dari 8, kemungkinan tanaman akan kekurangan unsur hara, dan apabila pH lebih rendah dari 4 tanaman akan keracunan Al, Mn, dan Fe (Susanto, 1994). Menurut Siregar *et al.* (2003) pH tanah yang ideal bagi tanaman kakao adalah 5,6 – 7,2.

Unsur hara mikro dan makro diperlukan dalam jumlah cukup untuk mendukung pertumbuhan dan produksi kakao. Pada umur tanaman kakao yang berbeda menghendaki jenis dan jumlah hara yang berbeda. Tanah yang baik untuk kakao adalah menghendaki KTK yang tinggi (Puslit Kopi dan Kakao, 2004).

2.3 Sifat biologi tanah

BOT secara langsung maupun tidak langsung berperan sebagai sumber energi bagi organisme tanah. Mikroorganisme yang berupa jamur, bakteri dan aktinomycetes mempergunakan dan atau memanfaatkan BOT yang diberikan sebagai sumber energinya.

Kandungan bahan organik tanah secara langsung berpengaruh terhadap fluktuasi suhu dan kelembaban tanah, yang selanjutnya berpengaruh terhadap aktivitas biota. Keberadaan mikroorganisme dalam tanah sangat berperan sebagai pengurai senyawa organik, pengendali patogen, pendorong serapan hara, memantapkan agregat tanah, pengikat nitrogen dan pelarut unsur hara. Jumlah maupun aktivitas organisme tanah ditentukkan oleh ketersediaan energi yang berupa substrat organik dan unsur-unsur hara anorganik (Young dan Ritz, 2000 *dalam* Sugiyarto, 2003; Pujiyanto, 2004).

2.4 Kandungan bahan organik tanah

Bahan organik tanah (BOT) adalah semua jenis senyawa organik yang terdapat dalam tanah, termasuk seresah, biomassa mikroorganisme, bahan organik terlarut dalam air dan bahan organik yang stabil atau humus (Pujiyanto, 2004). BOT mempunyai peranan sangat penting dalam mempertahankan kesuburan tanah. Kadar BOT merupakan salah satu penentu utama sifat fisik, kimia maupun biologi tanah.

Dipandang dari sudut agronomi, BOT dapat dikelompokkan ke dalam pool aktif (labil) dan pool stabil (pasif). Termasuk ke dalam pool aktif adalah seresah, biomassa mikroorganisme tanah, dan senyawa non humat yang tidak terikat pada bahan mineral. Pool aktif ini mempunyai arti yang sangat penting bagi tanaman karena sebagai sumber hara (terutama N, P, dan S) bagi tanaman. BOT yang tergolong dalam pool stabil adalah humus. Humus berfungsi sebagai cadangan (reservoir) hara tanaman dan berperan penting dalam menjaga keseimbangan hara dalam jangka panjang. Pool aktif sangat penting dalam

mempertahankan produktivitas dalam sistem pertanian berkelanjutan, dimana terjadi penggunaan residu organik secara maksimum dalam kondisi pengolahan tanah minimum serta dengan penggunaan pupuk buatan dalam jumlah sedikit. Besarnya pool aktif terkait langsung dengan masukan residu organik dan juga dipengaruhi oleh dekomposisi yang ditentukan oleh iklim maupun faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme tanah.

Kandungan bahan organik tanah secara langsung berpengaruh terhadap fluktuai suhu dalam kelembaban tanah, yang selanjutnya berpengaruh terhadap aktovitas biota tanah. Perbedaan macam bahan organik menyebabkan perbedaan komposisi biota tanah (Killham, 1994; Sugiyarto, 2003). Hasil penelitian di Ghana dan Nigeria menunjukkan adanya korelasi yang nyata antara kadar fosfor organik tanah dengan serapan fosfor oleh tanaman kakao (Acquaye, 1963; Omotosa, 1971 *dalam* Sugiyarto, 2003). Menurut Munandar (1995), bahan organik dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air oleh tanaman kakao. Pertumbuhan tanaman kakao yang baik memerlukan kadar bahan organik minimum 3,5% (sekitar 2% C) (Smiyth, 1966 *dalam* Soedarsono, et al., 1997). Hasil kajian Pujiyanto (1996) menunjukkan bahwa kadar bahan organik tanah di kebun-kenum Kopi dan Kakao di Jawa Timur pada umumnya tergolong rendah.

Hasil penelitian Smyth (1966) *dalam* Abdoellah (1996), bahwa makin tinggi kadar bahan organik tanah, jumlah buah per pohon makin banyak. Peningkatan kadar bahan organik dapat dilakukan dengan memanfaatkan serasah sisa pemangkasan maupun pembenaman kulit buah kakao yang baru dipanen (Susanto,1994). Hasil penelitian Wood (1985) menunjukkan bahwa adanya peningkatan produksi 26,5 - 74,4% pada empat tahun pertama dan 14,0 – 27,9% pada empat tahun kedua dengan menggunakan berbagai tanaman penutup tanah (*Colopogonium mucunoides, Centrosema pubescens, Pueraria phaseoloides, dan mimosa invisa*).

Kadar bahan organik yang tinggi (diatas 3%) akan memperbaiki struktrur tanah, biologi tanah, kemampuan absorpsi hara, dan daya simpan lengas tanah meningkatkan laju pertumbuhan awal tanaman kakao yang lebih cepat.

Kadar bahan organik yang baik adalah di atas 3% (Puslit Kopi dan Kakao, 2004). Kulit buah kakao dapat digunakan sebagai sumber bahan organik tanah. Produksi kulit buah kakao adalah ± 1,17 ton kulit buah segar atau 164 kg kulit buah kering untuk setiap ton biji kakao kerir/tahununtuk kebun yang memproduksi biji kakao 1.000 ton/tahun. Jumlah bahan organik tersebut sangat berarti bagi peningkatan kadar bahan organik (Pujiyanto, 1997).

B. Pola Tanam

Pola tanam (*croping pattern*) ialah susunan tata letak dan tata urutan tanam pada sebidang lahan selama periode tertentu, termasuk di dalamnya pengolahan tanah dan bera (Andrews dan Kassam, 1976). Secara garis besar pola tanam dibagi menjadi dua yaitu pola tanam tunggal (*monoculture*) dan pola tanam ganda (*multiple cropping*). Pola tanam ganda terbagi atas pola tanam beruntun (*sequantial cropping*) dan pola tanam tumpangsari (*intercropping*) (Andrews dan Kassam, 1976; Sanches, 1976). Pola tanam kakao yang ada saat ini di Maluku Utara merupakan hasil kumulatif dari keputusan individu dan atau masyarakat berdasarkan pengalaman masa lalu dan kebiasaan pada masing-masing wilayah.

Bentuk pola tanam kakao di Maluku Utara saat ini, akan tersu berevolusi mengikuti kebutuhan masyarakat dan tren yang berlaku. Bila dulu pola tanam kakao lebih difokuskan pada aspek pemenuhan kebutuhan produksi untuk memperoleh nilai ekonmi, pada masa kini dan mendatang masyarakat menginginkan komoditas yang secara ekonomi memberikan keuntungan, namun disisi lain masyarakat konsumen juga mulai peduli dengan menginginkan produk sehat dan juga menjaga kelestarian agroekosistem. Bentuk pola tanam sehat seperti apa yang harus dirapkan pada suatu wilayah agar dapat diperoleh produktivitas lahan yang optimal tanpa merusak lingkungan.

1. Pola Tanam Tunggal (*monoculture*)

Pengertian pola tanam tunggal (*monoculture*) adalah penanaman satu jenis tanaman secara terus menerus pada sebidang lahan. Kelemahan pola tanam monokultur adalah selalu menghadapi resiko kegagalan panen akibat serangan hama dan penyakit tanaman (Untung, 2006). Pada luasan tertentu yang didominasi satu jenis tanaman (monokultur) akan menimbulkan ekosistem yang seragam sehingga memungkinkan terjadinya dominasi hama dan penyakit tertentu yang dapat menimbulkan kerusakan pada tanaman.

Hasil penelitian bahwa penanaman satu jenis tanaman (monokultur) secara terus menerus akan berdampak negatif (resiko kegagalan tinggi), sebaliknya keanekaragaman sumberdaya genetik yang tinggi pada suatu lahan usahatani akan menunjang fleksibilitas terhadap lingkungan yang selalu fluktuasi (berubah-ubah). Sebagai contoh bahwa keseragaman genetik pada tanaman jagung (*Zea mays*) di Amerika pada tahun 1971 menyebabkan kegagalan panen akibat terserang jamur (Reijntjes e*t al*., 1991). Pengusahaan beberapa jenis tanaman dalam satu lahan budidaya secara tumpangsari, campuran, sisipan, rotasi maupun beruntun merupakan salah satu cara untuk mengatasi resiko kegagalan produksi.

2. Pola Tanam Ganda (*multiple cropping*).

Pola tanam ganda adalah penanaman dua jenis tanaman atau lebih pada sebidang lahan pada satu tahun tanam. Pola tanam beruntun adalah pada sebidang lahan ditanam dua jenis tanaman atau lebih pada satu tahun tanam dengan cara tanaman yang kedua ditanam setelah tanaman pertama dipanen, demikian dilakukan secara beruntun, sehingga disebut sebagai pola tanam beruntun. Pengertian dari tumpangsari (*intercropping*) adalah usaha penanaman lebih dari satu jenis tanaman yang ditanam dan tumbuh bersama di sebidang lahan dengan jarak tanam dan larikan yang teratur.

Dikenal ada empat bentuk pola tanam tumpangsari yaitu : (i) pola tanam campuran (*mixed cropping*), adalah dua atau lebih jenis tanaman yang ditanam serentak pada sebidang lahan dan tercampur tidak membentuk barisan tanaman

secara teratur atau tanpa adanya jarak tanam (Thahir dan Hadmadi, 1985); (ii) pola tanam berbaris (*row intercropping*), yaitu penanaman dua jenis tanaman atau lebih secara bersamaan, dimana terdapat satu baris tanaman lain yang teratur letak dan jaraknya diantara tanaman yang ada. Contoh satu baris tanaman jagung disampingnya ditanam satu baris kacang tanah; (iii) pola tanam beralur (*strip intercropping*), yaitu penanaman dua jenis tanaman atau lebih secara bersamaan dimana terdapat lebih dari satu barisan tanaman yang teratur letak dan jaraknya, diantara tanaman yang ada. Contoh beberapa baris tanaman jagung dikombinasikan dengan beberapa baris tanaman ubi jalar; dan (iv) pola tanam sisipan (*relay intercropping*) yaitu penanaman dua jenis tanaman atau lebih dimana tanaman kedua ditanam pada saat tanaman pertama telah memasuki periode pertumbuhan generatif atau beberapa saat tanaman pertama sebelum dipanen. Contohnya tanaman jagung dipanen maka tanaman kedelei ditanam diantara tanaman jagung (Guritno, 2011).

Berdasarkan pada landasan-landasan teori pola tanam yang telah disebutkan diatas, maka pola tanam kakao rakyat di provinsi Maluku Utara dapat dikategorikan sebagai pola tanam campuran (*mixed cropping*) dan pola tanam sisipan (*relay intercropping*). Teknik budidaya kakao oleh petani di Maluku Utara pada umumnya dilakukan secara konvensional mulai dari penggunaan benih, penanaman, pemeliharaan sampai pasca panen. Benih yang digunakan diperoleh dari benih kakao yang telah ada atau berasal dari pohon-pohon induk pada areal pertanaman kakao petani, walaupun terdapat juga menggunaan benih unggul yang diperoleh dari pemerintah (Dinas Pertanian) setempat. Bahkan, dalam pembudidayaan kakao sering juga digunakan bibit tanaman yang telah tumbuh di sekitar areal pertanaman kakao, kemudian dilakukan pencabutan dan dipindahkan ke areal perkebunan kakao. Sortasi terhadap benih yang digunakan didasarkan pada buah yang tidak terserang hama dan penyakit, bukan pada pohon induk yang tahan terhadap hama dan penyakit. Hal ini dilakukan secara turun temurun hingga saat ini.

Pemeliharaan tanaman kakao oleh petani di Maluku Utara pada berbagai pola tanam baik terhadap penggunaan pupuk maupun pestisida kimia sintetik, jarang ataupun tidak pernah dilakukan. Kecuali, pada areal pertanaman yang dijadikan demplot oleh Dinas Pertanian. Inipun tidak dapat di introduksi oleh petani karena selain biaya mahal, sulit mendapatkan pupuk dan pestisida disamping kurangnya pengetahuan petani dalam penggunaannya.

Pemangkasan pada tanaman kakao, jarang dilakukan sehingga kakao dapat tumbuh mencapai ketinggian diatas ± 10 - 12 meter dari permukaan, bahkan sebagian tanaman kakao melebihi ketinggian tersebut. Hal ini berdampak pada intensitas serangan hama dan penyakit dan kurangnya fotosintat yang diterima oleh daun-daun pada tajuk bagian bawah sehingga berpengaruh terhadap hasil kakao.

Ditinjau dari aspek budidaya kakao yang dilakukan oleh petani di Maluku Utara dapat diperkirakan hasil yang diperoleh relatif rendah. Rendahnya hasil disebabkan oleh berbagai faktor, diantaranya adalah hama dan penyakit pada areal pertanaman kakao. Hasil penelitian penulis sebelumnya pada areal pertanaman kakao rakyat di Maluku Utara, intensitas hama dan penyakit mencapai lebih dari 62 % dan kehilangan hasil mencapai 47 % (2009).

Salah satu jenis tanaman yang banyak ditanam bersama kakao di Maluku Utara ialah kelapa (*Cocos nucifera*). Hasil penelitian tumpang sari kakao dan kelapa di Jawa Timur diperoleh bahwa produksi kakao dengan penaung kelapa ialah normal (sama seperti monokultur). Produktivitas kakao yang ditanam tumpang sari dengan kelapa pada jarak tanam kelapa 12 x 8 m atau 104 pohon/ha dan jarak tanam kakao 3 x 2 m atau 1. 152 pohon/ha ialah 3.341 kg/ha/tn (kelapa) dan 1.079 (kakao) kg/ha/tn (Pramono dan Wigjosoemarto, 1988). Berdasarkan kajian ekonomis tumpangsari kakao-kelapa jauh lebih menguntungkan daripada budidaya kakao secara monokultur. Jika populasi kelapa 123 pohon/ha maka potensi tambahan pendapatan dari hasil kelapa buah sekitar 7.380 butir/tahun atau mencapai harga sekitar Rp 5.667.900. Dengan demikian pola tanam kakao - kelapa jauh lebih

menguntungkan dari pada pola tanam kakao secara monokultur (Prawoto *et al*., 2001).

Tumpangsari kakao dan kelapa antara lain, kelapa relatif tahan kering dan tidak menggugurkan daun selama musim kemarau, sebagai penaung, mempunyai nilai ekonomis cukup besar, dan secara tidak langsung membantu pengendalian hama *Helopeltis* dan *C. cramerella* secara biologis karena semut hitam (*Dolichoderus thoracicus*) suka bersarang di pohon kelapa. Tumpangsari kakao dan kelapa ialah adanya kompetisi air dan hara, serta inang berbagai jenis hama dan penyakit pada tanaman kakao. Persaingan unsur hara tumpangsari kakao - kelapa tidak mempengaruhi produksi asalkan jarak tanam kelapa 9 x 9 m dan jarak tanam kakao diantara kelapa sebesar 3 x 3 m. Jarak tanam kelapa 9 x 9 m dan umur tanaman lebih dari 20 tahun, akar tanaman terkonsentrasi pada radius 2 m. Sedangkan dengan jarak tanam kakao 3 x 3 m pada umur tanaman 13 tahun, akar tanaman terkonsentrasi pada radius 2,1m.

Pola tanam campuran (*mixed cropping*) ialah dua atau lebih jenis tanaman yang ditanam serentak dan tercampur tidak membentuk barisan tanaman secara teratur. Pada pola tanam campuran, kadang lebih dari satu jenis tanaman yang menjadi tanaman pokok, misalnya campuran tanaman kakao dengan tanaman Kelapa (*Cocos nucifera*), Pala (*Myristica fragrans*) dan Cengkeh (*Eugenia aromaticum*) yang semuanya ialah tanaman pokok. Keuntungan pola tanam campuran ialah menghasilkan beragam jenis tanaman (penganekaragaman), berbagai jenis produk yang dihasilkan, menyediakan benih dalam jumlah terbatas, resiko kegagalan panen kecil, dan menghasilkan banyak bahan makanan serta keseimbangan agroekosistem. Menurut Andrews dan Kassam (1976), bahwa pada pola tanam ganda (campuran) dapat memanfaatkan waktu dan susunan tempat tanam untuk memperoleh produksi yang lebih besar dibandingkan denga pola tanam monokultur (tunggal). Kelemahan pola tanam campuran ialah sukar menerapkan teknologi baru didalamnya.

Agroekosistem yang tersedia sangat kompleks pada pola tanam campuran, sehingga secara tidak langsung telah terjadi

manipulasi lingkungan. Manipulasi ekosistem dengan cara membudidayakan tanaman yang banyak menghasilkan serbuk sari atau nectar, misalnya jagung pada areal pertanaman kelapa dapat meningkatkan populasi predator *Chilocorus politus* yang dapat menekan hama kutu perisai kelapa (*Coccus viridis*). Pengendalian secara biologis dengan mempertahankan populasi semut hitam (*Dolichoderus thoracicus* Mayr) yang tinggi dan dibantu dengan membenamkan kulit buah pada saat buah dipanen dapat menekan serangan *C. cramerella* di bawah 5 % (Wagiman, 2006).

Hasil penelitian Priyatiningsih *et al*. (2005) penggunaan *Crotalaria juncea* untuk mengkonservasi dan mengefektifkan parasitoid penggerek polong kedelai (*Etiella zinckenella* Tr.) menunjukkan bahwa persentase serangan penggerek polong lebih tinggi pada tanaman kedelai daripada pada *Crotalaria juncea*, tetapi tingkat parasitasi penggerek polong lebih tinggi pada *C. juncea.*

Pola tanam campuran pada tanaman kakao merupakan salah satu bentuk optimalisasi lahan dan diversifikasi keragaman komoditas. Optimalisasi lahan pada areal pertanaman kakao dengan berbagai jenis tanaman penaung produktif telah terbukti mampu meningkatkan produktivitas lahan, juga dapat mencegah serangan hama dan penyakit, selama komoditas yang ditumpangsarikan bukan merupakan inang bagi hama dan penyakit (Baharudin *et al.*, 2004). Menurut McMahon (*2001*) *dalam* Baharudin *et al*. (2004), penanaman kakao secara tumpang sari atau campuran berbagai jenis tanaman merupakan cara efektif untuk mengendalikan hama dan penyakit.

C. Perkembangan Kakao

Kakao (*Theobroma cacao* Linn.) merupakan satu-satunya diantara 22 jenis marga Theobroma, suku Sterculiacea yang diusahakan secara komersial. Menurut Wood dan Lass (1985) bentuk buah kakao antara lain bentuk cundeamor, criollo, amelonado dan angoleta. Selanjutnya, berdasarkan tipe populasinya, tanaman kakao dapat dibagi

menjadi tiga kelompok besar yaitu Criolo, Forastero dan Trinitario.

Criollo berasal dari penyebaran melintasi pegunungan Andes kearah dataran rendah Venezuela, Kolumbia, dan Ekuador, serta kearah utara ke Amerika Tengah dan Meksiko. Sifat-sifat Criolo antara lain pertumbuhan tanaman kurang kuat, daya hasilnya lebih rendah disbanding Forastero, dan relatif mudah terserang hama dan penyakit. Permukaan kulit buah Criollo kasar, berbenjol-benjol, dan alur-alurnya jelas. Kulit ini tebal tetapi lunak sehingga mudah pecah atau dibelah. Criollo menghasilkan kakao mulia (*fine flavor cocoa*). Warna buah hijau atau agak merah karena adanya pigmen antosianin; perikarp agak kasar, tipis dan lunak, mesokarp mengandung lignin, bijinya bulat dan kotiledon berwarna putih.

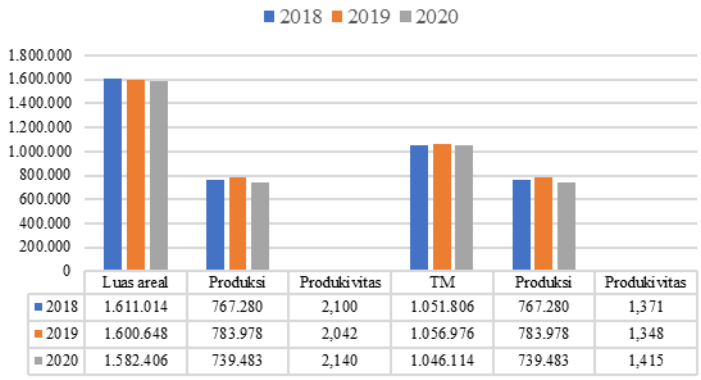
Forastero dihasilkan oleh penyebaran ke lembah Amazon, ke arah Brazil bagian barat dan Guyana (Alvim,1997). Forastero menghasilkan kakao bermutu sedang, dikenal dengan kakao lindak (*bulk cocoa*). Warna buah hijau, tidak ada pigmen antosianin, perikarp tebal dan keras, mesokarp kaya lignin. Bentuk bijinya lonjong (oval), pipih dan keeping bijinya (kotiledon) berwarna ungu. Permukaan kulit buahnya relatif halus karena alur-alurnya dangkal. Kulit buah ini tipis tetapi keras. Pertumbuhan tanamannya kuat dan cepat, daya hasilnya tinggi, dan relatiif tahan terhadap hama dan penyakit. Trinitario merupakan hibrida Criollo dan Forastero. Sifat morfologi dan fisiologinya sangat beragam, demikian juga daya dan mutu hasilnya.

Di Indonesia, tanaman kakao adalah salah satu komoditas perkebunan yang mempunyai peran penting dalam peningkatan devisa negara. Ekspor kakao mencapai US$ 975 juta pada tahun 2006 atau meningkat 24,2% disbanding tahun sebelumnya. Pemasok utama kakao dunia adalah Pantai Gading (38,3%), Ghana (20,2%) dan Indonesia (13,6%). Pemasok lainnya adalah Kamerun (5,1%), Brasil (4,4%), Nigeria (4,9%) dan Ekuador(3,1%).

Luas lahan perkebunan kakao dan produksi secara umum di Indonesia (Gambar 2.1) maupun secara khusus di Maluku

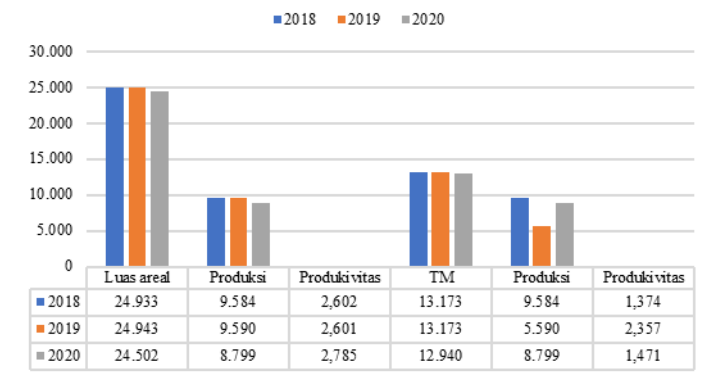
Utara (Gambar 2.2) selama 3 tahun terakhir (2018-2020) mengalami fluktuasi dan kecenderungan menurun baik dari aspek luas lahan maupun produksi (Statistik Perkebunan Indonesia, 2020)

Berdasarkan data (Statistik Perkebunan Indonesia, 2020) rata-rata poduktivitas masih rendah yaitu 1,3 – 1,4 ton/ha dari ptotensi ideal yang dapat menghasil 2 ton/ha/tahun.



	Luas areal	Produksi	Produkivitas	TM	Produksi	Produkivitas
2018	1.611.014	767.280	2,100	1.051.806	767.280	1,371
2019	1.600.648	783.978	2,042	1.056.976	783.978	1,348
2020	1.582.406	739.483	2,140	1.046.114	739.483	1,415

Gambar 2.1. Luas Areal (Ha) dan Produksi di Indonesia (Ton)



	Luas areal	Produksi	Produkivitas	TM	Produksi	Produkivitas
2018	24.933	9.584	2,602	13.173	9.584	1,374
2019	24.943	9.590	2,601	13.173	5.590	2,357
2020	24.502	8.799	2,785	12.940	8.799	1,471

Gambar 2.2. Luas areal (Ha) dan Produksi di Maluku Utara (Ton)

Rata-rata produktivitas kakao di Indonesia adalah 850 sampai 900 kg/ha/th (Dirjen Pertanian, 2011). Produktivitas tersebut, secara umum jauh dibawah potensi yang dapat mencapai 2.000 kg/ha/th. Produktivitas kakao rakyat diwilayah Sulawesi Selatan mencapai 1.320 kg/ha/th,

sedangkan di Jawa Timur di jumpai kebun dengan produktivitas sekitar 200 kg/ha/th. Di Maluku Utara, produktivitas kakao berkisar antara 480 sampai 600 kg/ha (Dinas Pertanian Provinsi Maluku Utara, 2006). Angka ini menunjukkan bahwa disamping rata-rata produktivitas masih rendah, juga terdapat variasi antar masing-masing daerah penghasil kakao di Indonesia.

BAB 3
PRE RISET TENTANG PENYAKIT BUSUK BUAH KAKAO RAKYAT MALUKU UTARA

Bab ini khusus menjelaskan mengenai beberapa contoh penelitian penulis yang pernah dilaksanakan terkait penyakit busuk buah kakao (*Phytopthora palmivora*) di Provinsi Maluku Utara khususnya di wilayah Kabupaten Halmahera Barat dan Kabupaten Halmahera Selatan. Ruang lingkup kajian penyakit busuk buah kakao diantaranya 1) sebaran intensitas serangan penyakit busuk buah kakao di Maluku Utara, dan 2) hubungan faktor cuaca dengan perkembangan intensitas penyakit busuk buah kakao. Ulasan secara detail tentang lingkup kajian pada ke dua penelitian ini dari aspek metodologi, populasi, sampel, teknik pengumpulan data, variabel pengamatan, dan analisis hasil penelitian menjadi informasi penting pada bagian ini.

3.1 Penelitian sebaran intensitas serangan penyakit busuk buah kakao di Maluku Utara

A. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut;

1. Persiapan Penelitian
   a. Koordinasi Kegiatan
      Koordinasi pelaksanaan penelitian dilakukan secara internal dan eksternal. Koordinasi internal oleh peneliti dan tim pelaksana kegiatan penelitan mencakup aspek pengetahuan tim tentang gejala penyakit busuk buah kakao, cara pencatatan dan dokumentasi, dan pembagian tugas masing-masing tim kerja yang digunakan, sedangkan koordinasi eksternal dilaksanakan oleh peneliti terhadap instansi terkait baik di Kantor Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia di Jember maupun di Pemerintah Daerah (Provinsi Maluku Utara, Kabupaten Halmahera Barat dan Kabupaten Halmahera Selatan).
   b. Instrumen Penelitian
      1) Alat dan bahan penelitian
         Alat –alat yang digunakan pada penelitian adalah alat pengukur cuaca (thermometer, bola basa kering, altimeter), kantong plastik bening,

pisau/cater, parang, petridish, kertas label, tali penggantung, GPS, meter roll, camera, dan alat tulis penulis.

Bahan yang digunakan pada peneltian adalah areal pertanaman kakao, buah kakao terinfeksi dan buah kakao sehat, media biakan, kapas, tissue, alkohol, dan air mineral.

2) Peta

Peta sebagai informasi awal dan petunjuk lokasi serta hasil kegiatan sehingga sangat dibutuhkan. Peta yang dibutuhkan pada kegiatan ini adalah peta administrasi, peta penggunaan lahan, peta geologi, peta topografi dan peta Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) yang diperoleh di instansi terkait sebagai data awal kemudian dihasilkan peta sebagai output penelitian.

3) Kuesioner

Kuesioner sebagai alat, berisi pertanyaan sesuai tujuan penelitian yang digunakan untuk mewawancara dan berdiskusi dengan responden terutama pemerintah dan petani. Kuesiner ini dipersiapkan oleh tim pelaksana kegiatan.

4) Survey lapangan

Survey lapangan juga dimaksudkan untuk pengambilan sampel buah kakao terserang penyakit busuk buah. Sampel dari lapangan selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk keperluan isolasi.

B. Lokasi penelitian

Survei sebaran intensitas penyakit busuk buah kakao dilaksanakan di Kabupaten Halmahera Barat dan Kabupaten Halmahera Selatan Provinsi Maluku Utara. Survei di kabupaten Halmahera Barat ditetapkan pada dua lokasi terpisah yaitu pada ketinggian 18 - 30 mdpl dan 55 - 76 mdpl. Sedangkan survey di kabupaten Halmahera Selatan dengan ketinggian 8-15 mdpl dan 186-210 mdpl.

Jarak tempuh antara Kabupaten Halmahera Barat dan Kabupaten Halmahera Selatan adalah ± 188 km, yang dapat ditempuh melalui transportasi laut dan udara via Kota

Ternate. Jarak antara kota Ternate dan kabupaten Halmahera barat adalah ± 35 km, yang dapat ditempuh dengan transportasi laut, sedangkan Jarak antara kota Ternate dengan kabupaten Halmahera selatan adalah ± 153 km, yang dapat ditempuh dengan transportasi laut dan udara. Pengukuran ketinggian tempat dari permukaan laut menggunakan altimeter.

C. Metode penelitian

1. Rancangan

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian deskriptif dimaksudkan untuk 1) melakukan deskripsi yang cermat berdasarkan gejala penyakit busuk buah kakao pada setiap lokasi pengamatan, 2) menghimpun fakta secara lengkap kejadian penyakit dan intensitas penyakit busuk buah kakao, dan 3) memahami serta mengetahui faktor yang dapat mempengaruhi perkembangan penyakit busuk buah. Deskripsi gejala serangan, kejadian penyakit, dan intensitas penyakit menggunakan metode survey di daerah sentra perkebunan kakao rakyat (Sugiyono, 2010). Metode survey ini digunakan untuk mendapatkan fakta-fakta secara faktual tentang kejadian penyakit dan intensitas serangan penyakit busuk buah pada areal perkebunan kakao rakyat di setiap lokasi pengamatan di kabupaten Halmahera Barat dan Halmahera Selatan.

2. Populasi dan sampel pengamatan

Populasi adalah keseluruhan subjek penelitian. Populasi dalam penelitian ini adalah semua unit tanaman sampel pada masing-masing lokasi penelitian. Penentuan ukuran sampel dapat dilakukan dengan metode purposive sampling yaitu dengan pertimbangan tertentu menurut Sugiyono (2010), dan dapat juga menggunakan persamaan menurut Parel *et al.*, (1973) yang dirumuskan sebagai berikut :

$$n = \frac{N.Z^2.s^2}{N.d^2 + Z^2.s^2}$$

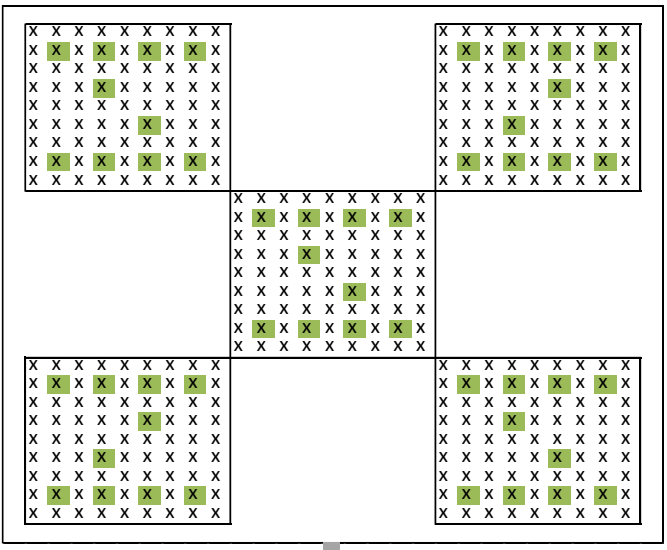
Keterangan :

N : Jumlah unit total sampel dalam populasi

d : Kesalahan maksimum yang dapat diterima

Z : Variabel normal, sebaran ola distribusinya normal
S^2 : Ragam
n : Ukuran sampel

Secara skematis pengambilan sampel pengamatan dapat dilihat pada Gambar 3.1. Pada masing-masing kecamatan pada setiap lokasi pengamatan, diulang sebanyak tiga kali, sehingga total keseluruhan percobaan adalah sebanyak 12 satuan percobaan areal perkebunan kakao rakyat. Setiap areal perkebunan kakao rakyat dibagi 5 sub petak, masing-masing seluas 30 m^2. Metode pengambilan tanaman contoh (sampel) dipilih pada sub petak secara sistematik (Silk, 1979; Rivai, 2006; Yunus, 2010; Morissan, 2012). Menurut Silk (1979), metode penarikan contoh sistematik pada sebaran ruang (spatial) suatu pertanaman atau keadaan tanah yang heterogen akan memberikan galat penarikan contoh yang lebih kecil dibandingkan metode penarikan contoh acak sederhana. Pada masing-masing sub petak terdapat 10 tanaman contoh, sehingga jumlah keseluruhan pada petak percobaan seluas 1 ha diperoleh 50 tanaman sampel yang diamati, sehingga total keseluruhan adalah 600 tanaman sampel yang diamati.



Keterangan : x = Tanaman sampel

Gambar 3.1. Petak percobaan dan tanaman sampel

D. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa pendekatan diantaranya pengumpulan data primer dan sekunder yang mencakup :

1. Penelitian survey sebaran insidensi penyakit dan instensitas penyakit busuk buah kakao bertujuan untuk mengetahui sebaran insidensi dan intensitas serangan penyakit busuk buah kakao pada areal perkebunan kakao rakyat di Provinsi Maluku Utara, pada wilayah Kabupaten Hamahera Barat dan Kabupaten Halmahera Selatan;
2. Penelitian laboratorium, melalui isolasi patogen penyebab penyakit busuk buah kakao yang diperoleh langsung dari areal pertanaman kakao rakyat dikabupaten Halmahera Barat dan kabupaten Halmahera Selatan.

E. Pelaksanaan penelitian

Pelaksanaan survey sebaran intensitas serangan penyakit busuk buah kakao dilakukan dengan tiga cara yaitu pertama observasi langsung pada areal perkebunan kakao rakyat di setiap lokasi pengamatan. Kedua, teknik komunikasi dan wawancara langsung dengan petani kakao secara lisan atau tatap muka menggunakan daftar pertanyaan atau kuiseioner, dan ketiga studi pustaka dan dokumentasi.

Observasi langsung pada areal perkebunan kakao rakyat dilakukan pada setiap lokasi pengamatan yaitu di desa Akediri, Acango, Hoku-Hoku Kie, Awer, dan Aketola kabupaten Halmahera Barat. Sedangkan observasi di Halmahera Selatan pada lokasi pengamatan di desa Sayoang dan Kampung Makian. Observasi dan pengamatan langsung di lapangan bertujuan untuk mengetahui gejala serangan penyakit busuk buah, intensitas serangan pada masing-masing lokasi pengamatan. Hasil deskripsi gejala serangan yang ditimbulkan berdasarkan banyaknya buah yang menunjukkan gejala penyakit busuk buah pada setiap pohon sampel, digunakan untuk mengetahui besar kecilnya

intensitas serangan penyakit busuk buah kakao pada setiap lokasi pengamatan.

Teknik komunikasi dan wawancara langsung dengan petani kakao secara lisan atau tatap muka menggunakan daftar pertanyaan atau kuiseioner bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang penggunaan benih atau bibit, produksi hasil kakao pada setiap musim panen, pengetahuan tentang penyakit busuk buah, dan upaya pengelolaan atau pengendaliannya. Wawancara dilakukan pada setiap wilayah dan lokasi pengamatan. Wawancara dilakukan pada setiap petani kakao (responden) yang areal perkebunannya dijadikan sebagai satuan percobaan. Wawancara juga dilakukan terhadap instansi teknis (petugas dinas perkebunan) di kabupaten Halmahera Barat dan Kabupaten Halmahera Selatan. Studi pustaka dan dokumentasi adalah mengumpulkan data dengan kategorisasi serta klasifikasi bahan-bahan tertulis yang berhubungan dengan masalah penelitian, baik dalam sumber dokumen perpustakaan, buku-buku laporan hasil penelitian, maupun internet dan referensi lainnya.

Survey lapangan juga dimaksudkan untuk pengambilan sampel buah kakao terserang penyakit busuk buah. Pengambilan sampel buah dilakukan dengan cara dimasukan ke dalam wadah berupa box yang dilapisi tissue dan ditambahkan dengan air secukupnya sebagai pelembab. Sampel buah yang diperoleh dari lapangan selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk keperluan isolasi. Bertujuan untuk mengetahui patogen penyebab penyakit busuk buah. Patogen penyebab penyakit busuk buah kakao yang diperoleh diidentifikasi berdasarkan klasifikasi menurut Waterhause (1963) dan Bush *et al.*, (2006).

F. Variabel pengamatan

1. Kejadian penyakit (*disease incidence*)

Insidensi penyakit adalah proporsi atau persentase jumlah tumbuhan atau jumlah bagian tumbuhan yang sakit atau memperlihatkan gejala sakit. Insidensi diukur dengan membandingkan jumlah tumbuhan atau jumlah bagian tumbuhan yang sakit terhadap jumlah seluruh tumbuhan

atau seluruh bagian tumbuhan yang diamati. Persen kejadian penyakit biasanya dinyatakan dengan rumus :

$$KP = \frac{n}{N}\ x\ 100\% \quad atau \quad X = \frac{n}{N}\ x\ 100\%$$

Keterangan :
KP : Kejadian penyakit
n : Jumlah tumbuhan atau buah sakit
N : Jumlah tumbuhan atau buah yang diamati

Berdasarkan rumus tersebut, kemungkinan nilai (n) yang terkecil adalah 0 (tidak ada tumbuhan atau bagian tumbuhan berupa buah yang diamati itu sakit), dan kemungkinan nilai (n) terbesar adalah sama dengan N (semua tumbuhan atau bagian tumbuhan berupa buah yang diamati itu sakit). Dengan kata lain, kejadian penyakit atau insidensi penyakit tidak akan pernah negatif (-) atau lebih besar dari 1 atau 100%.

2. Intensitas penyakit

Intensitas penyakit ialah gabungan kejadian penyakit dan keparahan penyakit. Kategori keparahan penyakit disajikan pada Tabel 3.1. Intensitas penyakit dihitung dengan menggunakan formula Townsend dan Heuberger (1943) ***dalam*** Unterstenhofer (1976) yaitu:

$$IP = \frac{\sum(\ ni\ x\ vi)}{Z\ x\ N}\ x\ 100\ \%$$

Keterangan :
IP : Intensitas penyakit
ni : Jumlah pohon yang menunjukkan kategori serangan
vi : Nilai numerik dari setiap kategori serangan
Z : Nilai numerik kategori serangan tertinggi
N : Jumlah buah pada setiap pohon yang diamati

Tabel 3.1. Katagori penilaian keparahan penyakit busuk buah kakao

Skor	gambaran gejala	Tingkat Ketahanan
0	X = 0 %	sehat (tahan)

1	0 < X < 10 %	ringan
2	10 < X < 25 %	sedang
3	25 < X < 50 %	agak Berat
4	50 < X < 75 %	berat
5	X > 75 %	sangat berat

Keterangan : X =Persentase buah sakit dari seluruh jumlah buah pada setiap pohon sampel

G. Analisis Data

Analisis data intensitas penyakit menggunakan uji T Test dengan Sofward SPSS versi 15. Pada uji ini, data yang diuji sebelumnya telah dilakukan uji kenormalan menurut Kolmogorov-Smirnov dengan menggunakan metode stepwise regression. Uji kenormalan ini bertujuan untuk mengetahui data yang telah diperoleh apakah telah terdistribusi secara normal. Kenormalan data dapat diketahui jika angka atau yang nilai pada uji Kolmogorov-Smirnov adalah lebih kecil dari 1,97. Selanjutnya dilakukan uji T Test pada taraf signifikansi 5% (Ghozali, 2006).

3.2 Penelitian Hubungan Faktor Cuaca dengan Perkembangan Penyakit Busuk Buah Kakao

A. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut;

1. Persiapan Penelitian
   a. Koordinasi Kegiatan

      Koordinasi pelaksanaan penelitian dilakukan secara internal dan eksternal. Koordinasi internal oleh peneliti dan tim pelaksana kegiatan penelitan mencakup aspek pengetahuan tim tentang gejala penyakit busuk buah kakao, cara pencatatan dan dokumentasi, dan pembagian tugas masing-masing tim kerja yang digunakan, sedangkan koordinasi eksternal dilaksanakan oleh peneliti terhadap instansi

terkait baik di Pemerintah Daerah Kabupaten Halmahera Selatan khususnya di Dinas Perkebunan.

c. Instrumen Penelitian

1) Alat dan bahan penelitian

Alat –alat yang digunakan pada penelitian adalah alat pengukur cuaca (thermometer, bola basa kering, dan altimeter), preparat, kotak box, kantong plastik bening, pisau/cater, parang, petridish, kertas label, tali penggantung,alat penangkap sopra model durhem, GPS, meter roll, camera, dan alat tulis penulis.

Bahan yang digunakan pada peneltian adalah areal pertanaman kakao, buah kakao terinfeksi dan buah kakao sehat, media biakan, kapas, tissue, alkohol, air mineral dan perekat/vaselin.

2) Peta

Peta sebagai informasi awal dan petunjuk lokasi serta hasil kegiatan sehingga sangat dibutuhkan. Peta yang dibutuhkan pada kegiatan ini adalah peta administrasi, peta penggunaan lahan, peta geologi, peta topografi dan peta Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) yang diperoleh di instansi terkait sebagai data awal kemudian dihasilkan peta sebagai output penelitian.

3) Kuesioner

Kuesioner sebagai alat, berisi pertanyaan sesuai tujuan penelitian yang digunakan untuk mewawancara dan berdiskusi dengan responden terutama pemerintah dan petani. Kuesiner ini dipersiapkan oleh tim pelaksana kegiatan.

4) Survey lapangan

Survey lapangan juga dimaksudkan untuk pengambilan sampel buah kakao terserang penyakit busuk buah. Sampel dari lapangan selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk keperluan isolasi.

D. Lokasi penelitian

Penelitian peranan cuaca terhadap intensitas penyakit busuk buah dilaksanan pada 3 (tiga) ketinggian tempat yang berbeda, yaitu :

1. 8–11 mdpl, terdapat di desa Sayoang, posisi pengamatan adalah (00°36’53,3”LS,127°35’03,4”BT) dan (00°35’59,6”LS, 127°34’35,8”BT) dengan topografi datar-landai.
2. 140–149 mdpl, terdapat di desa Hidayat, posisi pengamatan adalah (00°39’04,9”LS,127°30’45,0”BT) dan (00°39’19,3”LS,127°30’17,1”BT) dengan topografi landai berbukit.
3. 301–305 mdpl, terdapat di desa Kampung Makian, posisi pengamatan adalah (00°40’15,8”LS,127°31’0,9”BT) dan (00°40’07,1”LS,127°31’16,0”BT) dengan topografi berbukit bergelombang.

Pengukuran ketinggian tempat menggunakan altimeter dan penentuan posisi pengamatan menggunakan Global Positioning System - GPS (Garmin eTrex Legend HCx GPS). GPS adalah system penentuan lokasi berdasarkan sinyal satelit yang akan menghasilkan informasi berupa koordinat, latitude dan lokasi dalam peta. Lokasi pengamatan pada berbagai ketinggian tempat dengan menggunakan GPS disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Lokasi pengamatan intensitas penyakit pada berbagai ketinggian tempat

Pelaksanaan penelitian pada areal perkebunan kakao rakyat di lapangan berlangsung pada bulan Pebruari 2012 sampai bulan Juni 2012. Sedangkan pengamatan jumlah spora dilaksanakan di Laboratorium Hama dan Penyakit Tanaman (HPT) Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya dan Laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Khairun yang berlangsung pada bulan September sampai dengan bulan Desember 2012.

E. Metode penelitian

1. Rancangan

Penelitian ini didesain menggunakan metode penelitian survey. Survey adalah suatu penyelidikan yang dilakukan

untuk memperoleh fakta-fakta dari gejala penyakit busuk buah pada area perkebunan kakao rakyat. Metode survey menggunakan pendekatan survey analitis (*analytical survey method*) (Yunus, 2010). Dalam survey analisis, data yang digunakan bersifat kuantitatif dan analisisnya menggunakan media statistik.

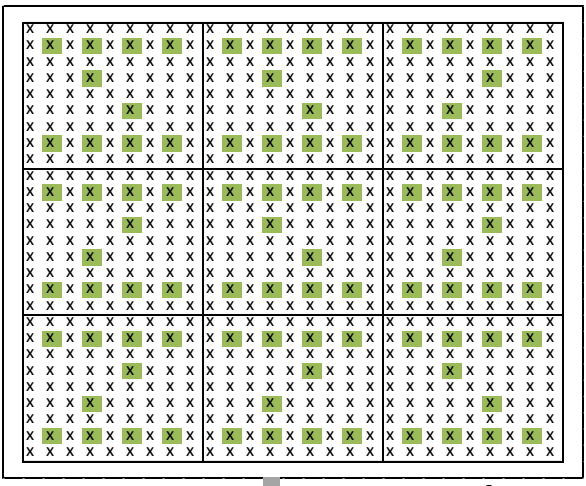
2. Penentuan sampel pengamatan

Berbagai teknik telah dikembangkan untuk memperoleh sampel populasi tanaman sakit atau sehat, atau propagul patogen. Secara skematis pengambilan sampel pengamatan pada berbagai ketinggian tempat disajikan pada Gambar 3.2. Pada setiap ketingggian tempat ditetapkan 2 lokasi pengamatan, sehingga total keseluruhan percobaan adalah 6 petak percobaan dengan jumlah populasi secara keseluruhan adalah 540 tanaman sampel.

Kebun kakao yang terserang penyakit busuk buah penyebab patogen *Phytophthora palmivora* setiap tahun atau setiap musim panen ditetapkan sebagai tempat percobaan. Metode ini dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran yang mewakili kondisi penyakit busuk buah pada areal perkebunan kakao rakyat pada berbagai ketinggian tempat.

30 m^2

100 m^2



Keterangan : . tanaman sampel

Gambar 3.2. Petak percobaan dan tanaman sampel

Petak percobaan setiap perkebunan kakao rakyat dengan ketinggian tempat yang berbeda ditetapkan seluas 1 ha, dan dibebaskan dari tindakan pengendalian. Dua jalur tanaman kakao yang mengelilingi petak percobaan digunakan sebagai tanaman pembatas tanaman kakao di luar petak percobaan. Setiap petak percobaan pada perkebunan rakyat dibagi menjadi 9 sub petak, masing-masing seluas 30 m^2. Tanaman contoh (sampel) dipilih pada sub petak secara sistematik (model zig saq). Pada masing-masing sub petak terdapat 10 tanaman contoh, sehingga jumlah keseluruhan pada petak percobaan seluas 1 ha diperoleh 90 tanaman contoh yang diamati. Serangan akibat penyakit busuk buah dinilai berdasarkan kejadian penyakit (insidensi), dan intensitas penyakit yang terjadi secara alami.

Pengukuran unsur cuaca dan penangkapan spora dilakukan secara bersamaan pada ketinggian 8-11 mdpl, 140-149 mdpl, dan 301-305 mdpl. Ketinggian tempat ini dipilih berdasarkan pola sebaran budidaya kakao rakyat yang terdapat pada dataran rendah, medium, dan pada dataran tinggi. Sehingga pada ketiga ketinggian ini dijadikan sampel unsur cuaca yang diamati hubungannya dengan perkembangan penyakit busuk buah kakao.

F. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa pendekatan diantaranya pengumpulan data primer dan sekunder yang mencakup :

1. Penelitian survey sebaran insidensi penyakit dan instensitas penyakit busuk buah kakao bertujuan untuk mengetahui sebaran insidensi dan intensitas serangan penyakit busuk buah kakao pada areal perkebunan kakao rakyat di Kabupaten Halmahera Selatan pada 3 lokasi dengan ketinggian yang berbeda (mdpl)
2. Penelitian laboratorium, melalui isolasi patogen penyebab penyakit busuk buah kakao yang diperoleh langsung dari areal pertanaman kakao rakyat pada 3 lokasi dengan ketinggian yang berbeda (mdpl).

G. Pelaksanaan penelitian

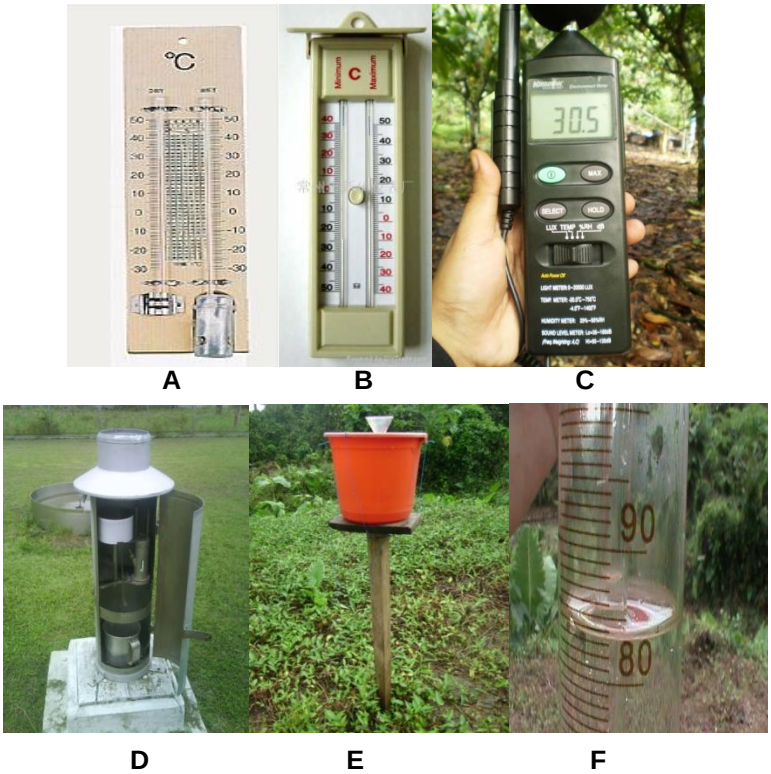
Pelaksanaan penelitian diawali dengan menstratifikasi faktor-faktor yang diduga dapat mempengaruhi perkembangan penyakit busuk buah, diantaranya ketinggian tempat pada masing-masing areal perkebunan kakao rakyat dan pola tanam. Stratifikasi-startifikasi ini dimaksudkan untuk melihat perbedaan intensitas penyakit yang disebabkan oleh berbagai faktor yang mempengaruhinya antara lain patogen penyebab penyakit, tanaman inang dan faktor lingkungan (kelembaban udara, suhu udara, curah hujan, hari hujan, kecepatan angin, lamanya penyinaran matahari, dan jumlah spora yang tertangkap diudara) yang mendukung perkembangan penyakit. Dasar stratifikasi yang telah ditetapkan, kemudian dilanjutkan dengan pelaksanaan penelitian peranan cuaca terhadap intesitas serangan penyakit busuk buah kakao.

Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap variabel unsur cuaca yang meliputi kelembaban udara (%), suhu udara (^oC), curah hujan (mm), hari hujan, dan data biologi jumlah spora yang tertangkap. Data cuaca lainnya kecepatan angin (km/jam) dan lama penyinaran (%) diperoleh dari BMKG Labuha wilayah setempat. Data cuaca diamati setiap hari sejak bulan Maret 2012 – bulan Mei 2012.

Pengamatan langsung terhadap unsur cuaca pada masing-masing lokasi dengan ketinggian tempat yang berbeda dilakukan secara bersamaan yaitu pada pukul 07.00, pukul 13.00, dam pukul 17.00 (WIT) setiap hari selama penelitian berlangsung untuk data cuaca kelembaban udara (%) dan suhu udara (^oC). Pengamatan unsur cuaca dilakukan oleh peneliti dan tim pengamat yang sebelumnya tim pengamat telah dilatih. Tujuannya untuk memahami dan mengetahui metode pencatatan terhadap penggunaan alat yang digunakan dan waktu pengamatan terhadap variabel unsur cuaca yang meliputi kelembaban udara, suhu udara, curah hujan, dan hari hujan.

Pengukuran kelembaban udara (%) di lapangan menggunakan wet and dry thermometer dan suhu udara menggunakan thermometer maximum-minimun yang

ditempatkan pada tiga lokasi dengan ketinggian yang berbeda dan Envirowment meter (digital) sebagai pembanding. Alat ukur yang digunakan disajikan pada Gambar 3.3.



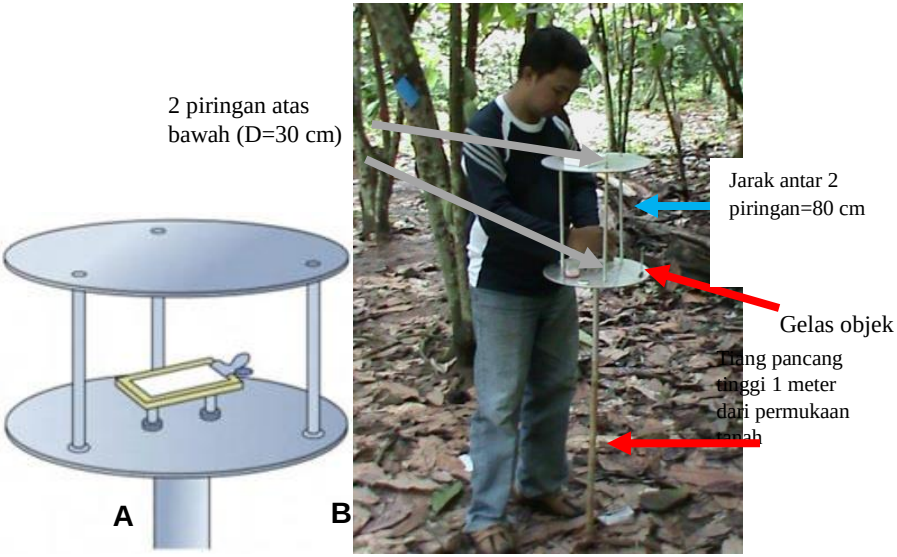
Gambar 3.3. Wet and dry thermometer (A); Thermometer max-min (B); Enviroment meter (C), Penakar hujan ombrometer (D); modifikasi penakar hujan ombrometer (E-F)

Pengamatan dan pengukuran curah hujan dan hari hujan dilakukan setiap hari pada pukul 07.00. Penakar hujan yang umum digunakan adalah Ombrometer (Gambar 3.3 D). Pada penelitian ini penakar hujan yang digunakan adalah modifikasi sederhana dengan menggunakan gelas ukur 100 ml yang diatasnya menggunakan corong gelas berdiameter 9 cm yang berfungsi sebagai mulut penakar. Gelas ukur yang telah diberi corong pada bagian atasnya dimasukkan dalam wadah berupa ember dengan diameter 28 cm dan

tinggi 26 cm bertujuan untuk melindungi gelas ukur dari terpaan angin agar tidak mudah jatuh. Wadah penampung curah hujan diletakkan diatas permukaan tanah setinggi 1,2 meter dari permukaan tanah dengan menggunakan alat penopang berupa kayu (Gambar 3.3 E).

Penangkapan jumlah spora di udara dilakukan setiap 2-2-3 hari dalam interval satu minggu pada ketiga ketinggian tempat selama penelitian berlangsung. Penangkapan spora di udara menggunakan alat penangkap spora. Beberapa model alat penangkap spora yang dapat digunakan adalah model Durham (Gravity-slide method), Rotorod air sampler, Anderson spore sampler. Pada penelitian ini digunakan alat penangkap spora model Durham yang dimodifikasi (Sastrahidayat, 1983) dan ditempatkan pada 3 (tiga) tempat di tengah-tangah areal perkebuanan kakao rakyat dengan jarak antara satu dengan yang lainnya sejauh 25 meter (Gambar 3.4).

Setiap alat penangkap spora terdiri atas dua piringan yang masing-masing berdiameter 30 cm dengan posisi atas bawah. Jarak antara dua piringan tersebut adalah 80 cm dan berfungsi sebagai pelindung gelas objek yang permukaan diberi perekat (vaselin) dan digunakan untuk menangkap sporangium yang tersebar di udara. Setiap alat penangkap spora terdapat 5 gelas objek/sediaan bervaselin, 4 gelas objek posisi vertical dan 1 gelas sedian posisi horizontal. Pada masing-masing ketinggian tempat diletakkan alat penangkap spora sebanyak 3 buah dengan ketinggian dari permukaan tanah adalah 1 meter, 1,5 meter, dan 2 meter. Sehingga total keseluruhan alat penangkap spora pada berbagai ketinggian tempat sebanyak 9 buah. Tiap dua sampai tiga hari pada pukul 08.00 pagi gelas objek perangkap sporangium pada masing-masing lokasi penelitian di kumpulkan dan dimasukan kedalam kotak atau box, untuk diamati di bawa mikroskop. Penggantian gelas objek dilakukan sedemikian rupa, sehingga dalam setiap minggu diperoleh pola penggantian 2 – 2 – 3 hari. Data mingguan jumlah sporangium diperoleh dari penjumlahan data yang dipakai pada ketiga waktu penggantian preparat penangkap sprorangium.

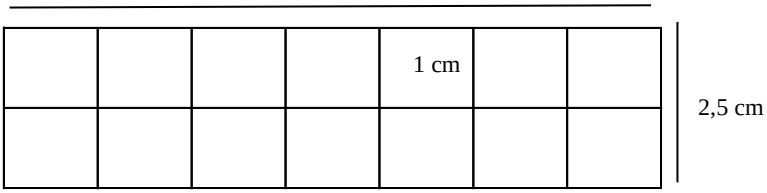


Gambar 3.4. Alat penangkap spora model Durham (A), yang dimodifikasi (B)

Seberapa banyak jumlah spora yang tertangkap (cm^2) pada masing-masing petak percobaan dengan ketinggian tempat yang berbeda dilakukan pengamatan dengan menggunakan mikroskop di laboratorium hama dan penyakit Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

Pengamatan jumlah spora yang terdapat pada gelas objek/sedian bervaselin berukuran 7,5 cm x 2,5 cm dilakukan dengan membuat 14 titik pengamatan pada setiap objek gelas/sedian dengan ukuran masing-masing titik pengamatan adalah 1 cm^2 sebagaimana pada Gambar 3.5. Hasil pengamatan unsur cuaca dan jumlah spora yang diperoleh pada setiap waktu pengamatan pada masing-masing ketinggian tempat kemudiaan dihubungkan dengan intensitas serangan penyakit busuk buah kakao untuk mengetahui unsur cuaca yang dominan dan atau jumlah spora yang memberikan pengaruh terhadap intensitas serangan penyakit busuk buah.

7,5 cm



Gambar 3.5. Pengamatan jumlah spora pada setiap gelas/objek (cm^2)

H. Variabel pengamatan

Variabel pengamatan penelitian hubungan cuaca terhadap penyakit busuk buah. bertujuan untuk mengetahui unsur cuaca yang memberikan pengaruh langsung dan dominan terhadap perkembangan penyakit busuk buah kakao dan untuk mendapatkan model perkembangan intensitas penyakit busuk buah.

Pengamatan secara langsung terhadap faktor cuaca diantaranya kelembaban udara (%), suhu (^oC), curah hujan (mm), hari hujan. Data cuaca kecepatan angin (km/jam) dan lamanya penyinaran matahari (%) diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Labuha Bacan. Data biologi jumlah patogen penyebab penyakit busuk buah kakao yaitu jumlah spora yang tertangkap (cm^2) di udara juga dilakukan pengamatan secara langsung pada setiap lokasi pengamatan dengan ketinggian yang berbeda. Hasil penelitian ini dijadikan dasar dalam peramalan atau prediksi perkembangan intensitas penyakit busuk buah kakao pada di masa mendatang. Variabel pengamatan meliputi :

1. Kejadian penyakit (*desease incidence*)

   Persen kejadian penyakit biasanya dinyatakan dengan rumus :

$$KP = \frac{n}{N}\ x\ 100\% \quad atau \quad X = \frac{n}{N}\ x\ 100\%$$

   Keterangan :

   KP : Kejadian penyakit

   n : Jumlah individu tumbuhan atau buah sakit

   N : Jumlah tumbuhan atau buah yang diamati

   Berdasarkan rumus tersebut, kemungkinan nilai (n) yang terkecil adalah 0 (tidak ada tumbuhan atau bagian tumbuhan berupa buah yang diamati itu sakit), dan

kemungkinan nilai (n) terbesar adalah sama dengan N (semua tumbuhan atau bagian tumbuhan berupa buah yang diamati itu sakit). Dengan kata lain, kejadian penyakit atau insidensi penyakit tidak akan pernah negatif (-) atau lebih besar dari 1 atau 100%.

2. Intensitas penyakit

. Intensitas penyakit dihitung dengan menggunakan formula Townsend dan Heuberger (1943) ***dalam*** Unterstenhofer (1976) yaitu:

$$IP = \frac{\sum(ni\ x\ vi)}{Z\ x\ N}\ x\ 100\ \%$$

Keterangan :

IP : Intensitas penyakit

ni : Jumlah buah yang menunjukkan kategori serangan

vi : Nilai numerik dari setiap kategori serangan

Z : Nilai numerik kategori serangan tertinggi

N : Jumlah buah pada setiap pohon yang diamati

3. Pengamatan unsur cuaca dan penangkapan spora

a. Kelembaban udara (%)

Pengukuran kelembaban udara (%) dapat dilakukan melalui 2 cara yaitu 1) menggunakan persamaan Swarinoto dan Sugiyono (2011) yaitu :

$$\text{RH} = \frac{e}{em}\ x\ 100\ \%$$

Keterangan :

RH : Kelembaban udara (%);

e : Tekanan uap air pada saat pengukuran (mb);

em : Tekanan uap air maksimum yang dapat dicapai pada suhu udara dan tekanan udara saat pengukuran (mb).

2) menggunakan alat ukur wet and dry thermometer.

b. Suhu udara (^{o}C)

Pengukuran suhu udara permukaan rata-rata harian dapat dihitung dengan persamaan Swarinoto dan Sugiyono (2011) yaitu :

$$T_{mean} = \frac{2x\ T7 + T\ 12 + T\ 17}{4}$$

Keterangan :
T mean: Suhu udara rata-rata;
T7 : Suhu udara permukaan pukul 07.00;
T12 : Suhu udara permukaan pukul 12.00;
T17 : Suhu udara permukaan pukul 17.00.

c. Curah hujan dan hari hujan

Data curah hujan diperoleh dengan cara tinggi air (ml=cm^3) yang terdapat dalam gelas ukur dibagi dengan luas permukaan corong (9 cm^2) dikalikan 10 (Tjiptanto, 2011) persamaannya:

$$CH\ (mm) = \frac{Volume\ (ml)}{luas\ (cm)}\ x\ 10$$

Keterangan :
CH : Curah hujan (mm)
Volume : Tinggi air pada gelas ukur (ml = cm^3)
Luas : Luas permukaan corang (9 cm)

d. Kecepatan angin (km/jam)

Kecepatan angin (km/jam) dan lama penyinaran (%) : Data kecepatan angin dan lama penyinaran diperoleh dari BMKG Labuha wilayah setempat.

e. Penangkapan spora

Penangkapan spora dilakukan dengan menggunakan alat penangkap spora. Alat penangkap spora yang digunakan adalah model Durham yang telah dimodifikasi menurut Sastrahidayat (1983) (Gambar 3.4).

I. Analisis Data

a. Analisis hubungan antara factor cuaca dengan intensitas penyakit

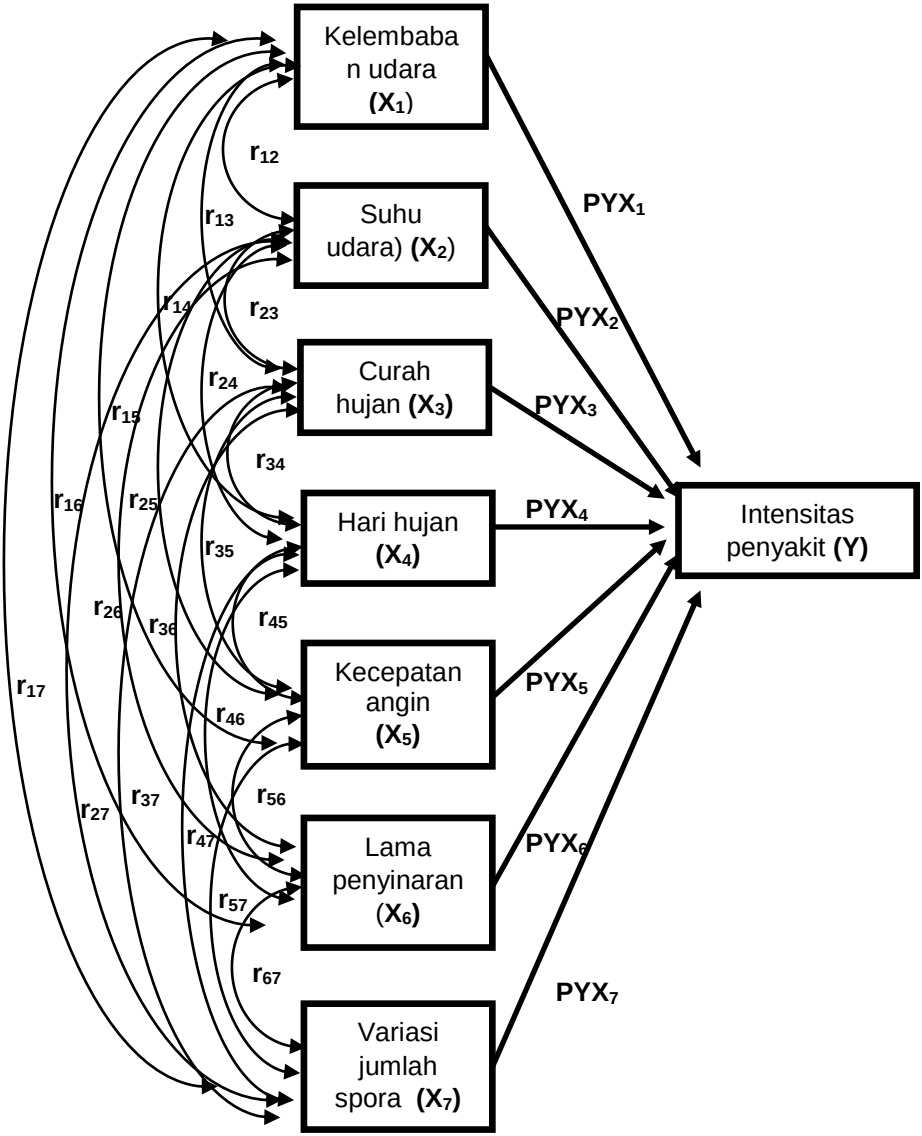
Analisis hubungan antara faktor cuaca dan intensitas penyakit busuk buah menggunakan analisis regresi (Permadi, 1999). Data cuaca yang diperoleh melalui mengukuran langsung pada masing-masing lokasi pengamatan diantaranya X_1 = kelembaban udara (%), X_2 = suhu udara (^oC), X_3 = curah hujan (mm), X_4 = hari hujan dan data X_7 = jumlah spora yang tertangkap (cm^2) . Data cuaca juga diperoleh dari BMKG pada lokasi setempat yaitu X_5 = kecepatan angin (km/jam) dan X_6 =

lama penyinaran (%). Data X_1, X_2 …Xn yang di peroleh dihubungkan dengan data intensitas serangan penyakit busuk buah (Y). Bentuk persamaan matematik hubungan fungsi faktor dependent terhadap faktor independent adalah Y = f (X_1, X_2, X_3,…X_n). Nilai peubah dependent (Y) tergantung pada perubahan-perubahan dari nilai yang diberikan pada peubah independent (X_1, X_2, X_3, ……..X_n).

Data hasil pengamatan variabel independent (Y) terhadap variabel dependent (x), sebelumnya dicobakan pada beberapa model analisi regresi seperti model linear (Y = a+bX), logaritma (Y=a+bLn(x)), polynomial (pangkat dua; $Y = a+b_1X+b_2X^2$, pangkat tiga ; $Y = a+b_1X+b_2X^2 +b_3X^3$, pangkat empat $Y= a+b_1X+b_2X^2 +b_3X^3+b_4X^4$, pangkat lima $Y= a+b_1X+b_2X^2 +b_3X^3+b_4X^4+b_5X^5$, power ($Y= ax^b$) dan eksponensial ($Y= ae^{bx}$), selanjutnya hasil analisis dari semua model tersebut kemudian dipilih satu medel matematik yang tepat atau mendekati koefisien determinasinya (R^2) yang tertinggi atau mendekati 1.

b. Analisis path

Analisis path adalah suatu teknik untuk menganalisis hubungan sebab akibat yang terjadi pada regresi berganda jika variabel bebasnya (faktor cuaca dan jumlah spora) mempengaruhi variabel tergantung (intensitas penyakit) tidak hanya secara langsung tetapi juga secara tidak langsung (Retherford, 1993; Webley, 1997 *dalam* Sarwono, 2002). Hubungan faktor cuaca (X) dan intensitas penyakit (Y) disajikan pada Gambar 3.6. Hasil analisis jalur kemudian dipilih unsur cuaca yang dominan memberikan pengaruh langsung terhadap intensitas serangan penyakit busuk buah. Faktor dominan inilah kemudian dijadikan model matematik prediksi intensitas penyakit busuk buah diwaktu mendatang.



Gambar 3.6. Diagram jalur pengaruh fakor cuaca (X_1, X_2…X_n) terhadap intensitas penyakit busuk buah kakao (Y)

BAB 4
JAMUR
Phytophthora palmivora

4.1. Bioekologi jamur patogen *Phytophthora palmivora*

Jamur *Phytophthora palmivora*, sebelumnya dinamakan *Pythium palmivorum* (Butler). Menurut Alexopoulos, dan Mims (1979) *P. palmivora* digolongkan ke dalam klas Oomycetes, ordo Peronosporales, famili Pythiaceae, genus Phytophthora.

Spora dihasilkan pada permukaan buah yang terinfeksi. Pada keadaan yang lembab sporangium berkecambah dengan membentuk satu atau dua buluh kecambah. Jika disuspensikan ke dalam air, sporangium akan melepaskan 15 -30 badan kecil yang dinamakan zoospora. Zoospora mempunyai dua buah alat seperti ekor. Dengan cara mencambukkannya ke belakang maka zoospora akan bergerak. Ketika zoospora berhenti, zoospora akan berkecambah, sama caranya seperti sporangium (Hislop, 1964 *dalam* Sukamto, 1985). Hifa kebanyakan bercabang banyak, agak lurus berdiameter hampir seragam 3 - 8 µ dan halus. Ciri umum hifa ialah kelihatan akan bergaris halus yang jelas pada biakan. Cirinya miseliumnya tidak bersepta, tumbuh menembus ke dalam sel-sel tanaman inang dan membentuk haustorium untuk mengabsorbsi nutrisi. Sporangium mempunyai bentuk yang khas yaitu elipsoidal atau ovoid dengan bagian yang lebar di dekat bagian dasar, mempunyai papila dan tangkai (*pedicel*) (Sukamto, 1985).

Bentuk sporangium sangat beragam bergantung kepada tiap isolat, tetapi umumnya berbentuk lonjong sampai bulat. Sebanyak 20 sporangium dapat di hasilkan dalam satu tangkai sporangium. Sporangium bersifat mudah lepas dari tangkai (*caducity*) dan setelah sporangium terpisah terlihat tangkai spora yang sangat pendek berukuran 5 µm. Panjang sporangium ± 40-60 µm dan lebar 25-40 µm serta ratio panjang lebar adalah 1.4 - 2 (Holiday, 1980). Bentuk sporangium, klamidospora dan miselium *P. palmivora* ditampilkan pada Gambar 4.1. Sporangium biasanya tidak berwarna, tetapi ada pula yang berwarna kuning pucat.

Gambar 4.1. *Phytophthora palmivora*:(A) Sporangium;(B)klamidospora (Foto. Sudjud)

Satu sporangium mengandung 10 – 40 zoospora yang berflagela dan akan dilepaskan apabila diinkubasikan dalam air (Holliday,1980). Kemudian zoospore akan melepaskan flagella yang berubah menjadi kista dan berkecambah membentuk tabung kecambah. Zoospora merupakan salah satu inokulum penting bagi penyebaran penyakit. Selain zoospora dan sporangium *Phytophthora* juga membentuk klamidospora yang terletak di ujung atau di tengah miselium. Klamidospora berbentuk globose sampai ke subglobose, terletak interkalar pada miselium dengan diameter berukuran 32 – 42 µm.

Menurut Semangun (2000), sporangium *P. palmivora* penyebab busuk buah kakao berbentuk buah pir, dengan ukuran 30-60 x 20-53 µm. Sporangiofor tumbuh sympodial dengan sporangianya berbentuk ovoid, ellipsoid, mempunyai papila, l/b rasio 1,6 - 2,0 dengan ukuran sporangia 35-60 x 20-40 µm. Variasi ukuran ini diantaranya disebabkan oleh perbedaan kondisi medium, inang, umur biakan, kelembaban dan cahaya.

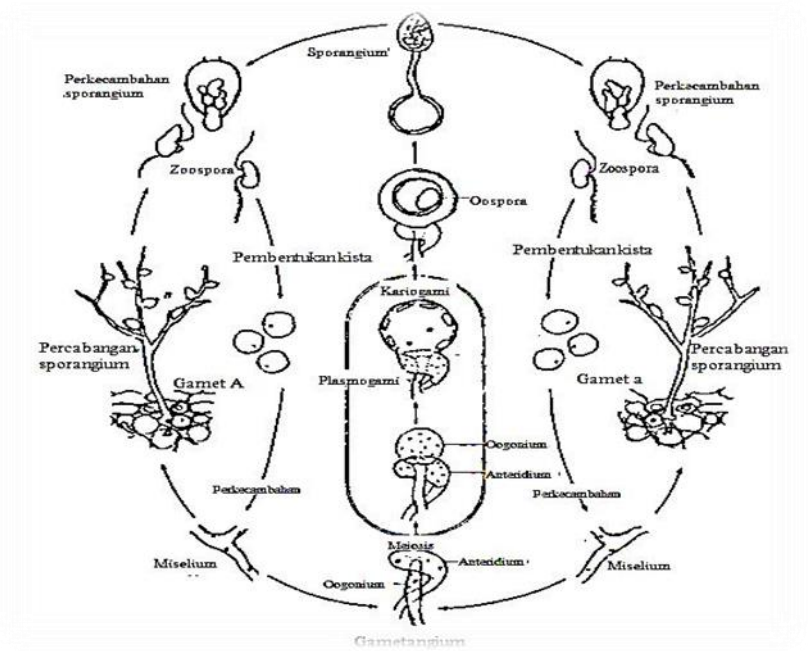
Hasil penelitian Umayah dan Purwantara (2006), menyatakan bahwa dari dua puluh isolat *Phytophthora* sp. yang telah diisolasi dari berbagai bagian tanaman kakao yang dikumpulkan dari enam provinsi di Indonesia, yaitu Sumatera Utara, Lampung, Jawa Barat, Jawa Timur, Sulawesi Selatan dan

Sulawesi Tenggara disimpulkan bahwa semua isolat ialah *P. palmivora* berdasarkan sifat-sifar morfologinya. Pada umumnya sporangia berbentuk buah pir (ovoid), mempunyai papilla yang jelas, bersifat caducous (mudah lepas dari sporangiofor) dengan tangkai pendek. Semua isolat juga memproduksi klamidospora berbentuk bulat, terminal dan beberapa interkalar, dengan cabang sporangiofor simple sympodial, caducous dengan pedisel berukuran 4-6 µm. Pedisel dengan ukuran tersebut dikategorikan sebagai pedisel yang pendek.

Phytophthora palmivora membentuk oogonium dan anteridium secara alami atau buatan. Oogonium dibentuk secara lateral atau terminal berdinding tipis dan tidak berwarna waktu masih muda. Setelah matang oogonium akan berdinding tebal dan berwarna coklat keemasan. Anteridium juga dibentuk secara lateral, berdinding tipis, tidak berwarna pada waktu muda tetapi akan berwarna kuning hingga coklat keemasan apabila telah matang. Pada kelas *Oomycetes* terdapat dua tipe anteridium yaitu *amphigynous* dan *paragynous*.

Oogonium dan anteridium dari *P. palmivora* apabila berpasangan maka terjadi fertilisasi antara kedua tipe kawin tersebut sehingga terbentuk oospora (Brassier & Griffin 1979). Secara *in vitro* oospora dibentuk pada suhu rendah (20°C) dalam keadaan gelap dan nutrisi yang sesuai. Pada keadaan alami, oospora dibentuk pada jaringan berkayu atau sisa-sisa tanaman yang terhindar dari cahaya. Perkembangan siklus hidup asexual maupun sexual *P. palmivora* ditampilkan dalam Gambar 4.2.

Daur hidup jamur *P. palmivora* menyebar dari satu buah ke buah lain yang sehat dengan menggunakan zoospora atau sporangium. Apabila sporangium telah masak maka akan terlepas dari sporangiosfornya. Dalam keadaan udara kering selama periode 12 jam, dapat ditangkap dekat buah yang terserang *P. palmivora* sebanyak 2-5 sporangia per cm^2 dan pada waktu hujan turun dapat ditangkap sebanyak 20 sporangia per cm^2.Jadi percikan air hujan membantu terjadinya peristiwa ini (Thorold, 1975 *dalam* Sukamto, 1985).



Gambar 4.2. Siklus hidup *Phytophthora palmivora* (Alexopoulos *et al.*, 1996)

Ada beberapa cara terjadinya infeksi oleh *P. palmivora* antara lain;

1. Hubungan langsung buah dengan tanah. Buah kakao yang menggantung di bagian bawah, bagian basalnya sering berhubungan langsung dengan tanah. Dalam keadaan yang menguntungkan untuk pertumbuhan jamur, infeksi pertama kali akan tampak pada buah yang berhubungan langsung dengan inokulum yang bertahan dalam tanah pada musim kering. Pada umumnya infeksi pertama nampak pada dasar buah dan selanjutnya menyebar ke bagian atas sampai menutup semua permukaan buah;
2. Percikan air hujan. Percikan air hujan merupakan agensia yang potensial untuk menularkan inokulum yang *soil borne* kepada jaringan yang peka. Pada penularan ini, tergantung pula pada adanya hujan angin di daerah yang berbeda;
3. Serangga, juga mempunyai peranan yang sangat penting. Telah diketahui bahwa beberapa semut yang ada di kebun kakao membuat sarang dalam tanah. Sering semut membawa

campuran tanah dan bahan organik yang kemungkinan terkontaminasi dengan spora *P. palmivora* ke buah atau jaringan lain yang peka; dan

4. Invertebrata dan vertebrata lain. Kotoran invertebrata telah diketahui membawa sporangium dan klamidospora *P. palmivora*. Buah sehat telah menunjukkan terinfeksi setelah diinokulasi dengan kotoran melalui luka.

Permukaan buah yang memiliki kelembaban cukup tinggi akan terbentuk sporangiofor (tangkai spora) dan sporangium (organ berkembang biak pada jamur*)* dan selanjutnya spora tersebut tersebar ke tempat lain (buah atau ranting di sekitar tempat terbentuknya spora) dan menyebabkan infeksi atau serangan baru pada buah kakao sehat.

Keparahan penyakit busuk buah kakao pada suatu lokasi atau kebun ditentukan oleh banyak faktor, antara lain kelembaban udara. curah hujan, cara bercocok tanam, banyaknya buah pada pohon dan kultivar/klon kakao yang ditanam. Kelembaban yang tinggi akan membantu pembentukan spora dan meningkatkan infeksi. Infeksi hanya dapat terjadi kalau pada permukaan buah terdapat air, baik yang berasal dari air hujan, dan dapat juga air yang terbentuk karena pengembunan uap air pada permukaan buah. Menurut Ward (1981), lapisan air pada permukaan buah merupakan syarat penting untuk perkembangan penyakit, mengingat ketersediaan air adalah salah satu kondisi yang diperlukan untuk perkecambahan spora dan proses infeksi pada buah. Hujan akan membantu penyebaran spora, di samping meningkatkan kelembaban kebun (Purwantara 1990).

Berbagai usaha telah dilakukan untuk mengendalikan *P. palmivora* dalam tanah, namun belum memberikan hasil yang memuaskan, bahkan terdapat spekulasi bahwa jamur bertahan dalam akar-akar kakao sendiri, meskipun tidak menunjukkan gejala penyakit.

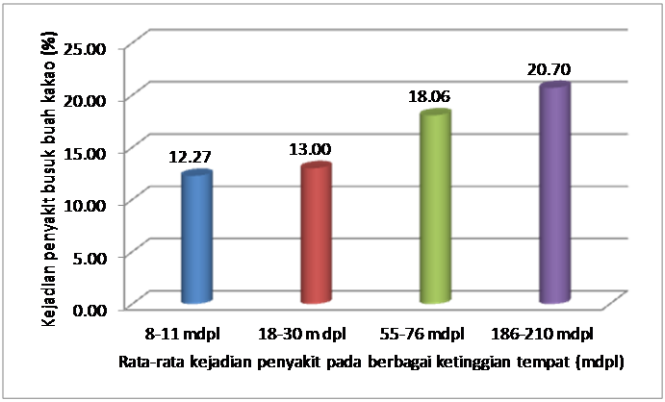
BAB 5

SEBARAN PENYAKIT BUSUK BUAH KAKAO PERKEBUNAN RAKYAT DI MALUKU UTARA

5.1. Insidensi Penyakit Busuk Buah Kakao

Insidensi atau kejadian penyakit busuk buah kakao didasarkan pada gejala penyakit busuk buah yang terdapat pada setiap pohon sampel. Besarnya tingkat kejadian penyakit (*disease incidence*) dapat diketahui dengan membandingkan jumlah buah kakao yang terinfeksi atau terserang penyakit busuk buah pada setiap pohon sampel dengan jumlah buah yang diamati.

Hasil survey lapangan pada berbagai ketinggian tempat di kabupaten Halmahera Selatan (ketinggian 8-15 mdpl dan 186-210 mdpl) dan kabupaten Halmahera Barat (ketinggian 18 - 30 mdpl dan 55 - 76 mdpl), menunjukkan bahwa besarnya tingkat kejadian penyakit busuk buah pada masing-masing lokasi pengamatan terdapat perbedaan, sebagaimana disajikan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Rata-rata kejadian penyakit busuk buah kakao

Besarnya tingkat kejadian penyakit busuk buah kakao pada berbagai ketinggian (Gambar 5.1), menunjukkan bahwa rata-rata kejadian penyakit busuk buah kakao pada masing-masing ketinggian tempat adalah 12,27% (8-15 mdpl), 13,00% (18-30 mdpl), 18,76% (55-76 mdpl), dan 20,70% (186-210 mdpl). Berdasarkan data kejadian penyakit yang diperoleh, menujukkan bahwa adanya tren peningkatan pada setiap kenaikan tempat dari permukaan laut. Hal ini disebabkan karena pada setiap

kenaikan tempat, diduga terdapat variasi faktor cuaca yang berbeda disamping tanaman inang yang dibudidaya juga berbeda, baik dari penggunaan varietasnya maupun teknik budidaya terutama pola tanam.

Hasil analisis uji normalitas (kolmogrov-smirnov) berdasarkan data kejadian penyakit busuk buah kakao pada masing-masing lokasi pengamatan di Kabupaten Halmahera Barat dan Halmahera Selatan, diperoleh angka kejadian penyakit sebesar 0,663 dan antar lokasi pengamatan adalah sebesar 0,754. Angka ini menunjukkan data tersebut telah terdistribusi secara normal karena kurang dari 1,97 (standar normalitas kolmogrov-smirnov). Data analisis perbandingan uji t (T-Test) terhadap variabel pengamatan kejadian penyakit (%) antara masing-masing lokasi disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Data analisis perbandingan kejadian penyakit

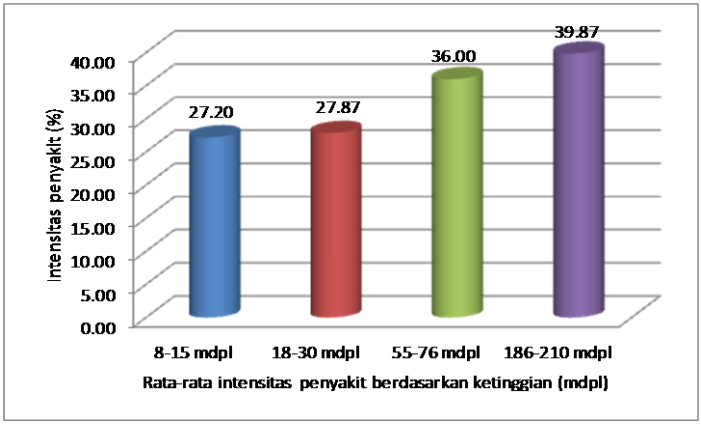
Analisis Perbandingan			Kejadian Penyakit (%)
			Nilai Uji t-Test (95%)
8-15 mdpl	-	18-30 mdpl	0.711tn
8-15 mdpl	-	55-76 mdpl	0.002*
8-15 mdpl	-	186-210 mdpl	0.000*
18-30 mdpl	-	55-76 mdpl	0.021*
18-30 mdpl	-	186-210 mdpl	0.003*
55-76 mdpl	-	186-210 mdpl	0.058*

Keterangan : * nyata; ^{tn} tidak nyata

Berdasarkan hasil analisis uji t (T-Test) pada Tabel 5.1 menunjukkan bahwa kejadian penyakit (%) pada masing-masing lokasi pengamatan di kabupaten Halmahera Barat dan Halmahera Selatan terdapat perbedaan signifikan (nyata) pada taraf kepercayaan 95 %. Perbedaan tidak nyata ditunjukkan pada ketinggian 8-15 mdpl dan dan 18-30 mdpl.

5.2. Intensitas Penyakit Busuk Buah Kakao

Intensitas penyakit busuk buah kakao berdasarkan hasil penelitian survey pada berbagai ketinggian tempat di kabupaten Halmahera Selatan dan kabupaten Halmahera Barat, menunjukkan bahwa terdapat variasi besarnya intensitas penyakit pada masing-masing ketinggian baik di kabupaten Halmahera Barat maupun kabupaten Halmahera Selatan. Hasil penilaian intensitas penyakit busuk buah kakao disajikan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.2. Rata-rata intensitas penyakit busuk buah kakao

Intensitas penyakit busuk buah kakao pada berbagai ketinggian tempat (Gambar 5.2), menunjukkan bahwa rata-rata intensitas penyakit busuk buah kakao adalah 27,20% pada ketinggian tempat 8-15 mdpl, 27,87% pada ketinggian tempat 18-30 mdpl, 36,00% pada ketinggian tempat 55-76 mdpl, dan 39,87% pada ketinggian tempat 186-210 mdpl. Besarnya kecilnya intensitas penyakit ditentukan oleh banyaknya buah yang bergejala atau terinfeksi patogen penyebab penyakit busuk buah. Semakin banyak buah yang terinfeksi pada setiap pohon sampel, maka semakin besar tingkat intensitas penyakit. Sebaliknya semakin sedikit jumlah buah yang terinfeksi maka semakin kecil tingkat intensitas penyakit busuk buah. Data intensitas penyakit yang diperoleh, terlihat bahwa adanya peningkatan intensitas penyakit seiring dengan setiap kenaikan tempat dari permukaan laut. Hal ini juga ditunjukkan pada penilaian kejadian penyakit. Artinya, dapat diasumsikan bahwa

ketinggian tempat dapat mempengaruhi intensitas penyakit busuk buah kakao. Menurut Miller (1976), di daerah tropis secara umum dicirikan oleh keadaan iklim yang hampir seragam, namun dengan adanya perbedaan geografis seperti perbedaan ketinggian tempat di atas permukaan laut (dpl), akan menimbulkan perbedaan cuaca dan iklim secara keseluruhan pada tempat tersebut, terutama suhu, kelembaban, dan curah hujan. Selanjutnya dikatakan pula, bahwa laju penurunan suhu akibat ketinggian memiliki variasi yang berbeda-beda untuk setiap tempat. Perbedaan-perbedaan inilah yang diduga mempengaruhi perbedaan intensitas penyakit busuk buah kakao pada setiap lokasi pengamatan.

Hasil analisis uji normalitas (kolmogrov-smirnov) berdasarkan data intensitas penyakit busuk buah kakao pada masing-masing lokasi pengamatan di Kabupaten Halmahera Barat dan Halmahera Selatan, diperoleh angka intensitas penyakit sebesar 0,759 dan antar lokasi pengamatan adalah sebesar 0,754. Angka ini menunjukkan data tersebut telah terdistribusi secara normal karena kurang dari 1,97 (standar normalitas kolmogrov-smirnov). Data analisis perbandingan uji t (T-Test) terhadap variabel pengamatan intensitas penyakit (%) antara masing-masing lokasi pengamatan disajikan pada Tabel 5.2.

Berdasarkan hasil analisis uji t (T-Test) pada Tabel 5.2, menunjukkan bahwa intensitas penyakit (%) pada masing-masing lokasi pengamatan di kabupaten Halmahera Barat dan Halmahera Selatan terdapat perbedaan signifikan (nyata) pada taraf kepercayaan 95 %, kecuali antara ketinggian 8-15 mdpl dan 18-30 mdpl dengan nilai uji t Test sebesar 0,859. Hal ini disebabkan pada ketinggian tersebut terdapat faktor lingkungan yang sama, sehingga secara statistik tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

Tabel 5.2. Data analisis perbandingan intensitas penyakit (%)

Analisis Perbandingan			Intensitas Penyakit (%)
			Nilai Uji t-Test (95%)
8-15 mdpl	-	186-210 mdpl	0.000*
8-15 mdpl	-	18-30 mdpl	0.850^{tn}
8-15 mdpl	-	55-76 mdpl	0.003*
186-210 mdpl	-	18-30 mdpl	0.006*
186-210 mdpl	-	55-76 mdpl	0.050*
18-30 mdpl	-	55-76 mdpl	0.033*

Keterangan : * nyata; ^{tn} tidak nyata

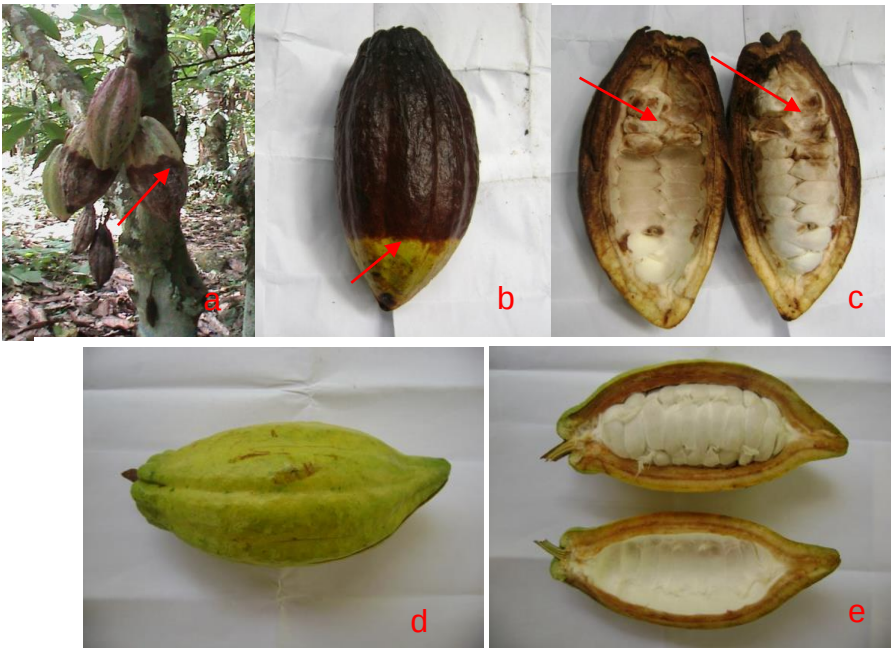
Atas dasar hasil penelitian survey sebagaimana telah disebutkan diatas, maka diperlukan penelitian lanjutan untuk mengungkap hubungan faktor cuaca terhadap perkembangan penyakit busuk buah pada areal perkebunan kakao rakyat di Maluku Utara.

5.3. Gejala penyakit busuk buah kakao

Pengamatan gejala penyakit busuk buah kakao bertujuan untuk membuktikan bahwa besarnya kejadian penyakit dan intensitas penyakit sebagaimana telah dijelaskan pada hasil di atas adalah benar penyakit busuk buah kakao. Pengamatan terhadap gejala serangan buah kakao yang terinfeksi pada berbagai ketinggian tempat, menunjukkan bahwa penyakit busuk buah dapat terjadi pada berbagai umur buah, sejak buah masih kecil (*cherelle wilt*) sampai pada buah matang. Buah kakao yang telah dipanenpun dapat terinfeksi jika ditimbun dalam satu tempat secara bersamaan dalam jangka waktu tertentu sebelum biji buah kakao dipungut atau diambil dari buahnya.

Gejala penyakit pada buah yang terinfeksi adalah terdapat perubahan warna buah yang berbatas jelas antara bagian buah sehat dan bagian buah yang terinfeksi. Perubahan warna buah

umumnya mulai dari tangkai buah atau ujung buah (Gambar 5.3).



Gambar 5.3. Gejala penyakit busuk buah kakao (a) buah terinfeksi (b), biji buah terinfeksi (*c*), buah matang sehat (d), biji buah matang sehat (e)

Bagian buah yang terinfeksi dengan cepat meluas ke seluruh permukaan buah dan akhirnya buah menjadi coklat kehitaman. Pada bercak (bagian buah yang terinfeksi) timbul lapisan yang berwarna putih bertepung, terdiri atas jamur-jamur sekunder yang banyak membentuk spora**.** Jika buah yang terserang tidak segera dipetik, jamur ini akan berkembang dan menjadi sumber inokulum untuk dapat menginfeksi buah-buah lainnya yang masih sehat.

Buah kakao dengan umur ± 60 - 70 hari (dua bulan) setelah pembungaan (ukuran buah ± 10 cm) jika terinfeksi, maka buah tersebut tidak dapat dipungut hasilnya (biji buah). Sedangkan pada buah yang telah besar (matang), jika terinfeksi masih dapat dipungut hasilnya, akan tetapi pada biji yang terinfeksi akan berwarna coklat kehitaman dan terjadi penurunan

kualitas maupun kuantitas hasil biji. Buah yang terinfeksi, kemudian akan menjadi busuk dalam waktu 8 – 15 hari tergantung pada masing-masing ukuran buah.

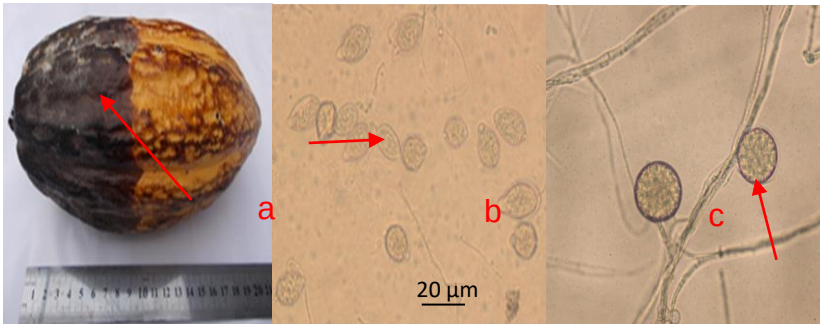
Hasil-hasil penelitian lain menyebutkan bahwa busuk buah dapat timbul pada berbagai umur buah, sejak buah masih kecil sampai menjelang masak. Umumnya warna buah berubah dari ujung buah atau dekat tangkai yang dengan cepat meluas ke seluruh buah (Sukamto, 1998; Semangun, 2000; Umayah, 2004; Guest, 2007; Adomako, 2007). Buah menjadi busuk dalam waktu 14-22 hari (Purwantara, 1992), sementara menurut Jackson dan Wright (2001) *dalam* Ramlan (2010), buah yang terinfeksi akan menjadi busuk total dalam waktu 2 minggu.

Menurut Guerrero *et al.* (2012) gejala yang paling mudah dikenali dari infeksi *Phytophthora* pada kakao adalah munculnya bercak hitam pada buah yang terinfeksi di lokasi kakao manapun, infeksi muncul paling sering adalah pada ujung atau pangkal buah yang dekat dengan tanah. Buah yang terinfeksi secepatnya menjadi hitam dan termumifikasi, menyebabkan kerugian ekonomi utama dan sumber inokulum sekunder.

Buah kakao yang menunjukkan gejala penyakit, berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa perbedaan karakter morfologi buah kakao akan menimbulkan perbedaan tingkat intensitas serangan. Perbedaan ini dapat dilihat dari adanya variasi perbedaan kejadian penyakit pada lokasi pengamatan baik pada ketinggian yang sama maupun pada ketinggian yang berbeda. Buah kakao dengan karakter permukaan buah agak kasar sampai permukaan buah kasar dengan alur buah yang agak dalam sampai alur buah dalam, berdasarkan pengamatan di lapangan sangat rentan terhadap penyakit busuk buah dibandingkan dengan buah yang mempunyai permukaan buah halus dan alur buah tidak tampak. Perbedaan karakter morfologi pada buah kakao tersebut menunjukkan adanya perbedaan sifat genotip yang berbeda. Hal ini menyebabkan timbulnya perbedaan karakter atau aksesi pada buah kakao sebagai penanda tingkat ketahanan terhadap penyakit busuk buah pada areal pertanaman kakao rakyat dan faktor lingkungan yang mempengaruhinya.

5.4. Patogen Penyebab penyakit

Buah kakao yang memperlihatkan gejala penyakit busuk buah di lapangan pada berbagai lokasi pengamatan, selanjutnya diamati patogen penyebab penyakit di laboratorium. Hasil pengamatan di laboratorium jamur penyebab penyakit disajikan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4. Buah kakao terinfeksi *P. palmivora* (a), variasi ukuran sporangium (b) 25,4 - 39,8 µm x 19,3 - 24,7 dan klamidospora (c)

Hasil penelitian laboratorium, yaitu pengamatan jamur penyebab penyakit busuk buah kakao pada areal perkebunan rakyat, diperoleh sporangium dan klamidospora jamur penyebab penyakit busuk buah kakao.

Sporangium mempunyai bentuk yang khas yaitu ovoid atau mirip dengan buah per dengan bagian yang lebih besar di dekat bagian tangkai sporangium, dan variasi bentuk sporangium lonjong dan agak bulat . Terdapat variasi ukuran sporangium antara 25,4 - 39,8 µm x 19,3 - 24,7 µm. Mempunyai miselium tidak bersekat, dan bercabang. Klamidosmpora berbentuk bulat yang terdapat pada bagian tengah atau pada ujung miselium. Berdasarkan bentuk, ukuran, dan cirri miseliumnya maka jamur penyebab penyakit busuk buah pada areal perkebunan rakyat adalah *Phytophthora palmivora*. Sporangium dan klamidospora jamur penyebab penyakit busuk buah yang diperoleh pada penelitian ini sesuai dengan bentuk sporangium dan klamidospora yang disampaikan oleh

Waterhaose (1963); Holiday (1980); Sukamto (1985); Semangun (2000); Umayah dan Purwantara (2006).

Menurut Holliday (1980), bentuk sporangium sangat beragam bergantung kepada tiap isolat, tetapi umumnya berbentuk lonjong sampai bulat. Sebanyak 20 sporangium dapat dihasilkan dalam satu tangkai sporangium. Sporangium bersifat mudah lepas dari tangkai (*caducity*). Panjang sporangium berkisar 40-60 µm dan lebar 25-40 µm. Klamidospora berbentuk globose sampai ke subglobose, terletak interkalar pada miselium dengan diameter berukuran 32 – 42 µm. Klamidospora banyak ditemukan di ujung atau ditengah miselium. Menurut Sukamto (1985), sporangium mempunyai bentuk yang khas yaitu elipsoidal atau ovoid dengan bagian yang lebar di dekat bagian dasar, mempunyai papila dan tangkai (*pedicel*). Menurut Semangun (2000), sporangium *P. palmivora* penyebab busuk buah kakao berbentuk buah pir, dengan ukuran 30-60 x 20-53 µm. Sporangiofor tumbuh sympodial dengan sporangianya berbentuk ovoid, ellipsoid, mempunyai papila, l/b rasio 1,6 - 2,0 dengan ukuran sporangia 35-60 x 20-40 µm. Variasi ukuran ini diantaranya disebabkan oleh perbedaan kondisi medium, inang, umur biakan, kelembaban dan cahaya.

Hasil penelitian Umayah dan Purwantara (2006), menyatakan bahwa dari dua puluh isolat *Phytophthora* sp. yang telah diisolasi dari berbagai bagian tanaman kakao yang dikumpulkan dari enam provinsi di Indonesia, yaitu Sumatera Utara, Lampung, Jawa Barat, Jawa Timur, Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara disimpulkan bahwa semua isolat ialah *P. palmivora* berdasarkan sifat-sifar morfologinya. Pada umumnya sporangia berbentuk buah pir (ovoid), mempunyai papilla yang jelas, bersifat caducous (mudah lepas dari sporangiofor) dengan tangkai pendek. Semua isolate juga memproduksi klamidospora berbentuk bulat, terminal dan beberapa interkalar, dengan cabang sporangiofor simple sympodial, caducous dengan pedisel berukuran 4-6 µm.

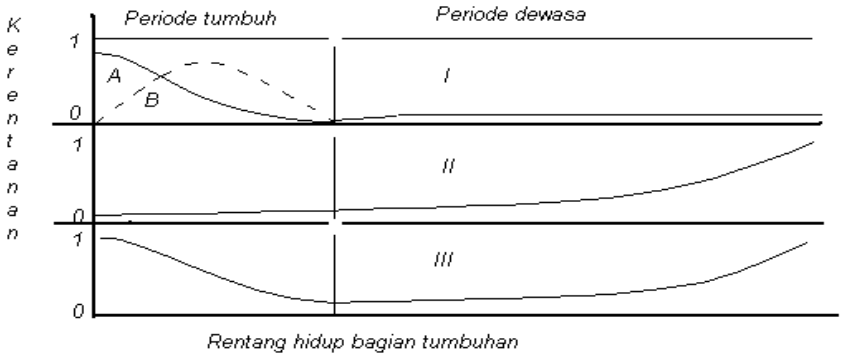
5.5. Faktor-faktor yang Mempengaruhi

Faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan suatu penyakit sangat ditentukkan oleh patogen, tanaman inang dan lingkungan. Apabila patogen agresif, tanaman inang rentan dan

lingkungan mendukung maka perkembangan penyakit akan berkembang secara cepat. Sebaliknya patogen agresif, tanaman inang tahan, dan lingkungan tidak mendukung maka perkembangan penyakit sangat lambat. Menurut Abadi (2000), beberapa faktor internal dan eksternal tanaman inang tertentu memainkan peranan penting dalam perkembangan epidemi yang menyangkut inang tersebut.

Faktor tanaman inang yaitu tingkat ketahanan atau kerentanan inang, derajat keseragaman genetik, tipe tanaman budidaya dan umur tanaman. Epidemi penyakit akan mudah terjadi jika tanaman rentan ditanam secara luas dan monokultur (Semangun 1996). Dalam hubungannya dengan umur tanaman, epidemik penyakit dapat terjadi pada berbagai fase tanaman antara lain pada fase awal pertumbuhan, fase pematangan dan pengusangan, dan pada fase masih sangat muda dan setelah mencapai fase pematangan (Gambar 5.5). Umumnya, epidemik penyakit lebih cepat terjadi pada tanaman semusim dibandingkan dengan tanaman tahunan.

Faktor patogen merupakan faktor yang sangat penting dalam mempengaruhi perkembangan epidemi penyakit tumbuhan. Faktor patogen tersebut menyangkut tingkat virulensi patogen, jumlah inokulum yang ada di dekat tanaman inang, tipe reproduksi patogen, ekologi patogen dan cara penyebaran patogen. Patogen yang lebih virulen akan mampu dengan cepat menginfeksi inangnya dan menghasilkan inokulum yang lebih banyak jika dibandingkan dengan patogen yang kurang virulen. Jika, tanaman yang diserang patogen yang tingkat virulensinya tinggi akan lebih cepat sakit (masa inkubasi gejala cepat), serangannya lebih berat (parah), dan patogennya lebih cepat menghasilkan inokulum dalam jumlah yang banyak. Virulensi adalah tingkat kemampuan suatu patogen untuk menimbulkan penyakit atau tingkat patogenitas dari suatu patogen. Sedangkan patogenitas berarti kemampuan relatif dari suatu patogen untuk menimbulkan penyakit (Talboys *et al.*, 1973; Shurtleff dan Averre, 1997 *dalam* Umayah, 2004).



Gambar 5.5. Perubahan kerentanan tanaman dari segi umur. I:Tanaman rentan hanya pada tingkat pertumbuhan vegetative maksimum (1A), pada awal pertanaman (1B). II.Tanaman rentan hanya setelah mencapai kematangan dan kerentanan meningkat dengan meningkatnya senesen. III. Tanaman rentan selagi masih sangat muda dan akan rentan kembali setelah mencapai tingkat kematangan (J.G.Horsfall & E.B.Cowlingin Agrios,1997. Plant Pathology.4th ed.:156 h) *dalam* Purnomo (2007).

Faktor lingkungan juga merupakan faktor yang sangat menentukan dalam terjadinya dan perkembangan epidemi penyakit tumbuhan. Dua faktor lingkungan yang sangat penting dalam perkembangan epidemi penyakit tumbuhan yaitu faktor kelembaban dan suhu. Berat ringannya penyakit busuk buah sangat ditentukan kelembaban udara, curah hujan, cara bercocok tanam, banyaknya buah pada pohon dan jenis tanaman (Purwantara 1990; Semangun, 2000).

Kelembaban yang tinggi akan membantu pembentukan spora dan meningkatkan infeksi. Penyebaran *P. palmivora* banyak dibantu oleh keadaan lingkungan yang lembab di mana kelembaban 60 – 80 % dan suhu 27,5 – 30 ºC pertumbuhan spora sangat giat. Selanjutnya dikatakan bahwa infeksi *P. palmivora* dapat langsung terjadi antara buah melalui percikan air hujan dari permukaan tanah. Proses infeksi hanya akan terjadi jika pada permukaan buah terdapat air. Curah hujan yang

dinyatakan dalam lamanya hujan maupun jumlah curah hujan tidak berpengaruh secara langsung terhadap infeksi, tetapi pengaruhnya terjadi secara tidak langsung melalui kebasahan permukaan buah dan kelembaban.

Peranan suhu terjadi secara tidak langsung melalui kelembaban nisbi udara dan kebasahan permukaan buah. Makin rendah suhu, makin tinggi kelembaban nisbih udara dan makin lama pula bertahannya kebasahan pada permuaan buah. Pelepasan dan perkecambahan zoospora terjadi pada suhu 15 sampai 30 ºC, sedangkan infeksi pada buah kakao terjadi pada suhu 20 – 30 ºC. Pelepasan, perkecambahan, dan infeksi memerlukan ketersediaan air minimum 3 sampai 4 jam (Purwantara, 1990).

Faktor aktivitas manusia dalam kaitannya dengan kegiatan bercocok tanam dan pengendalian penyakit ternyata mempengaruhi perkembangan epidemi penyakit tumbuhan baik dalam mengurangi maupun menambah laju epidemi. Faktor-faktor tersebut antara lain ialah seleksi tempat dan persiapan tanam, seleksi material perbanyakan, praktek penanaman, cara pengendalian penyakit dan introduksi patogen baru.

Teknik budidaya tanaman, antara lain pemangkasan, kerapatan tanaman, pemberian mulsa, drainasi, pemupukan, dan pemungutan hasil sangat mempengaruhi perkembangan penyakit. Lapisan mulsa yang ada di sekitar pangkal batang akan mencegah terjadinya percikan air yang membawa tanah yang terinfestasi jamur. Busuk buah lebih banyak terdapat pada pohon yang lebat buahnya. Sering dikatakan penyakit busuk buah berbanding lurus dengan jumlah buah dan dengan curah hujan (Semangun, 2000).

Cara bercocok tanam antara lain pemangkasan, kerapatan tanaman, pemberian mulsa, drainase, pemupukan dan pemungutan hasil sangat mempengaruhi perkembangan penyakit. Lapisan mulsa atau seresah di sekitar pangkal batang akan mencegah terjadinya percikan air yang membawa tanah yang terinfeksi. Busuk buah lebih banyak terdapat pada pohon yang lebat atau banyak buahnya. Di mana buah yang membusuk pada pohon akan mendorong infeksi pada buah lain yang berdekatan, atau terjadi gesekan pada buah yang sakit dengan buah yang sehat sehingga timbul infeksi baru.

Kakao jenis Criollo sangat rentan terhadap penyakit busuk buah karena dinding buahnya yang lunak sangat membantu infeksi *P. palmivora*. Kakao jenis Forastero mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap penyakit dan kakao jenis Trinitario mempunyai ketahanan yang bervariasi artinya tidak tahan, agak tahan, dan tahan terhadap serangan penyakit busuk buah. Sukamto dan Mawardi (1986) melaporkan bahwa klon DR1 rentan; klon DR2, DR38 dan GC7 agak rentan; klon DRC9 dan SCA89 agak tahan; sedangkan klon SCA6, SCA 12, ICS6 dan DRC 16 tahan terhadap serangan *P. palmivora* penyebab penyakit busuk buah kakao.

BAB 6

HUBUNGAN FAKTOR CUACA TERHADAP INTENSITAS PENYAKIT

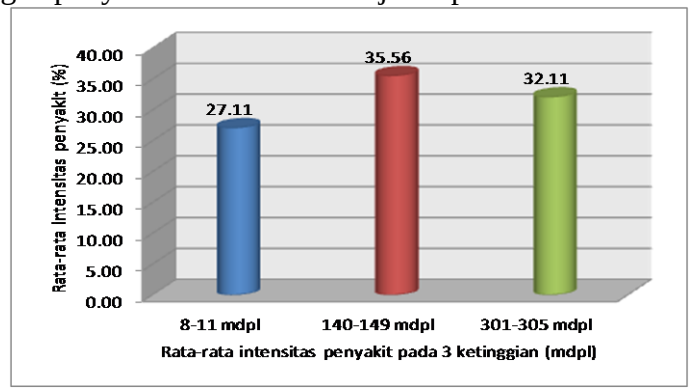
6.1. Intensitas penyakit busuk buah kakao

Faktor cuaca merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan dalam perkembangan epidemi penyakit tumbuhan. Dua faktor lingkungan yang sangat penting dalam perkembangan penyakit tumbuhan yaitu faktor kelembaban (%) dan suhu (ºC). Berat ringannya penyakit busuk buah kakao sangat ditentukan kelembaban udara, curah hujan, cara bercocok tanam, banyaknya buah pada pohon dan jenis tanaman (Purwantara 1990; Semangun, 2000).

Kelembaban yang tinggi akan membantu pembentukan spora dan meningkatkan infeksi. Penyebaran *P. palmivora* banyak dibantu oleh keadaan lingkungan yang lembab di mana kelembaban 60 – 80 % dan suhu 27,5 – 30 ºC pertumbuhan spora sangat giat. Selanjutnya dikatakan bahwa infeksi *P. palmivora* dapat langsung terjadi antara buah melalui percikan air hujan dari permukaan tanah. Proses infeksi hanya akan terjadi jika pada permukaan buah terdapat air. Curah hujan yang dinyatakan dalam lamanya hujan maupun jumlah curah hujan tidak berpengaruh secara langsung terhadap infeksi, tetapi pengaruhnya terjadi secara tidak langsung melalui kebasahan permukaan buah dan kelembaban. Peranan suhu terjadi secara tidak langsung melalui kelembaban nisbih udara dan kebasahan permukaan buah. Makin rendah suhu, makin tinggi kelembaban nisbih udara dan makin lama pula bertahannya kebasahan pada permuaan buah. Pelepasan dan perkecambahan zoospora terjadi pada suhu 15 sampai 30 ºC, sedangkan infeksi pada buah kakao terjadi pada suhu 20 – 30 ºC. Pelepasan, perkecambahan, dan infeksi memerlukan ketersediaan air minimum 3 sampai 4 jam (Purwantara, 1990).

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa adanya perbedaan intensitas penyakit pada ketinggian tempat yang berbeda. Besarnya kecilnya intensitas penyakit pada setiap pohon sampel ditentukan oleh banyaknya buah yang bergejala atau terinfeksi patogen penyebab penyakit busuk buah. Semakin banyak buah yang terinfeksi pada setiap pohon sampel, maka semakin besar tingkat intensitas penyakit. Sebaliknya semakin sedikit jumlah buah yang terinfeksi maka semakin kecil tingkat intensitas penyakit. Data penilaian intensitas penyakit pada

setiap lokasi pengamatan dan penggunaan skoring kategori serangan penyakit busuk buah disajikan pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1. Rata-ratai intensitas penyakit (%)

Penilaian intensitas penyakit berdasarkan Gambar 6.1 menunjukkan bahwa rata-rata intensitas penyakit tertinggi yaitu pada ketinggian 140-149 mdpl yaitu 35,56% dibandingkan pada ketinggian 301-305 mdpl yaitu 32,11%, dan pada ketinggian 8-11 mdpl intensitas penyakit adalah 27,11%. Hasil analisis uji normalitas (kolmogrov-smirnov) berdasarkan data intensitas penyakit busuk buah kakao pada masing-masing ketinggian tempat, diperoleh angka intensitas penyakit sebesar 0,435 dan antar lokasi pengamatan adalah sebesar 1,136. Angka ini menunjukkan data tersebut telah terdistribusi secara normal karena kurang dari 1,97 (standar normalitas kolmogrov-smirnov). Data analisis perbandingan intesitas penyakit dengan menggunakan uji t (T-Test) antar masing-masing ketinggian tempat disajikan pada Tabel 6.1

.Tabel 6.1. Analisis perbandingan intensitas penyakit antar lokasi pengamatan

Analisis Perbandingan			Intensitas penyakit (%)
			Nilai uji T-Test(95%)
8-11 mdpl	-	140-149 mdpl	0,051*
8-11 mdpl	-	301-305 mdpl	0,337tn
140-149 mdpl	-	301-305 mdpl	0,246tn

Keterangan: tn tidak nyata, * nyata

Berdasarkan hasil analisis uji t (T-Test) sebagaimana disajikan pada Tabel 6.1 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan intensitas penyakit antara lokasi pengamatan 8-11 mdpl dan 140-149 mdpl, sementara antar lokasi pengamatan lainnya tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Signifikan ini dapat dilihat dari besarnya selisih intensitas serangan penyakit busuk buah pada lokasi 8-11 mdpl dan 140-149 mdpl adalah masing-masing sebesar 27,11 % dan 35,56% atau terdapat selisih 8,45% tingkat intensitas serangan. Tentunya berbeda dengan besaran intensitas penyakit pada lokasi pengamatan lainnya yang kurang dari 8,45%, tetapi secara statistik tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Perbedaan intensitas penyakit secara signifikan/nyata maupun tidak nyata pada berbagai ketinggian tempat menunjukkan adanya perbedaan faktor lingkungan, pola tanam, sanitasi, dan pemeliharan serta terdapat keragaman klon kakao yang dibudidaya.

Hasil pengamatan faktor cuaca pada berbagai ketinggian tempat, menunjukkan adanya variasi faktor cuaca pada masing-masing ketinggian, terutama faktor suhu dan kelembaban, serta curah hujan baik jumlah curah hujan maupun banyaknya hari hujan. Perbedaan faktor suhu dan kelembaban dipengaruhi oleh ketinggian tempat dari permukaan laut, juga dipengaruhi oleh pola tanam. Pada pola tanam tumpangsari kelapa dan kakao dengan jarak tanam kelapa 8 x 8 meter dan kakao 4 x 4 meter mempunyai kelembaban relatif lebih rendah dengan pola tanam secara campuran dengan jarak tanam kakao antara 3 x 3 meter, 3 x 2 meter secara bersama-sama dengan tanaman pala, kelapa, cengkeh, durian, salak, fanilli, langsat, rambutan secara tidak beraturan dengan tajuk yang saling ternaungi.

Pengamatan faktor cuaca pada berbagai ketinggian tempat, diperoleh pada ketinggian 8-11 mdpl suhu rata-rata adalah 27 ^{o}C dengan kelembaban 82% sampai 83%, sedangkan pada ketinggian 14-149 mdpl dan 301-305 mdpl suhu rata-rata adalah 26 sampai 26,5 ^{o}C dengan kelembaban diatas 85%. Sementara data hari hujan banyak terjadi hujan pada ketinggian 140-149 mdpl yaitu pada bulan Maret hari hujan sebanyak 11 hari pada ketinggian 8-11 mdpl, 14 hari pada ketinggian 140-149 mdpl, dan 13 hari pada ketinggian 301-305 mdpl dengan intensitas

hujan yang berbeda-beda. Pada bulan April dan Mei juga demikian, banyak hari hujan juga terdapat pada ketinggian 140-149 mdpl yaitu 21 hari hujan pada bulan Mei (140-149 mdpl), 19 hari hujan (301-305 mdpl), dan 17 hari hujan (8-11 mdpl). Perbedaan cuaca pada masing-masing ketinggian sebagaimana telah disebutkan, mempengaruhi banyak jumlah spora yang tersedia. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa jumlah spora lebih banyak terdapat pada ketinggian 140-149 mdpl dibandingkan pada ketinggian 301-305 mdpl dan 8-11 mdpl. Perbedaan inilah yang menyebabkan pada ketinggian 140-149 mdpl intensitas serangan penyakit lebih tinggi dibandingkan dengan ketinggian lainnya. Menurut Miller (1976), pada tempat yang rendah ditandai oleh suhu lingkungan, tekanan udara dan oksigen yang tinggi, sedangkan pada tempat yang tinggi banyak mempengaruhi terhadap penurunan tekanan udara dan suhu udara serta peningkatan curah hujan. Selanjutnya dikatakan pula bahwa laju penurunan suhu akibat ketinggian memiliki variasi yang berbeda-beda untuk setiap tempat.

Kakao secara umum diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama yaitu Criollo, Forastero, dan Trinitario. Klasifikasi baru berdasarkan data genetik sejak tahun 2008 berhasil dicapai, dan dikenal hingga 10 kelompok genetik (Amelonado, Criollo, Contamana, Curaray, Guiana, Iquitos, Maranon, Nacional, Nanay dan Purùs). Perbedaan genetik di antara kelompok tersebut dapat menghasilkan perbedaan kerentanan terhadap penyakit (Guerrero *et al.*, 2012). Selanjutnya dikatakan bahwa seluruh varietas kakao dipengaruhi oleh beberapa penyakit yang dapat berdampak pada produksi dunia hingga 40%, diantaranya busuk buah yang disebabkan oleh *Phytophtora* spp. Penyakit busuk buah kakao merupakan permasalahan yang secara ekonomi khususnya sangat serius terjadi di seluruh wilayah penghasil kakao di seluruh dunia. Kerugian panen tahunan dapat berkisar antara 20% hingga 30%, meskipun setiap petani kakao dapat menderita kerugian dari 30% hingga 90%, khususnya sangat parah terjadi di Afrika Barat dan Tengah, menyebabkan hingga 60% kerugian di perkebunan kakao rakyat.

Hasil pengamatan langsung di lapangan terhadap karakterisasi morfologi buah kakao pada masing-masing petak

pengamatan di tiga lokasi ketinggian tempat yang berbeda, menunjukkan bahwa terdapat banyak karakter morfologi berdasarkan meliputi warna buah, bentuk buah, dan permukaaan kulit buah. Menurut Anonim (2010), terdapat sejumlah varietas atau klon hibrida yang tahan terhadap penyakit busuk buah *Phytophthora palmivora* yaitu Sca 6, DR 1 x Sca 12, DRC 16 x Sca 12, DRC 16 x Sca12. Selanjutnya kelompok Criollo yang tahan adalah ICCR1, ICCR2, dan kelompok Forastero yang tahan adalah ICCR3 dan ICCR4. Sukamto dan Mawardi (1986) melaporkan bahwa klon DR1 rentan; klon DR2, DR38 dan GC7 agak rentan; klon DRC9 dan SCA89 agak tahan; sedangkan klon SCA6, SCA 12, ICS6 dan DRC 16 tahan terhadap serangan *P. palmivora* penyebab penyakit busuk buah kakao. Tingginya intensitas penyakit pada areal perkebunan rakyat pada berbagai ketinggian tempat di Halmahera Selatan menunjukkan bahwa dominan kakao yang dibudidaya memiliki tingkat katahanan terhadap penyakit busuk buah *Phytophthora palmivora* yang peka dan atau moderat.

6.2. Model hubungan cuaca terhadap penyakit busuk buah

6.2.1. Model regresi berganda

Model regresi berganda yang menjadi pembahasan pada penulisan ini adalah pada ketinggian 140-149 mdpl dengan intensitas penyakit tertinggi dibandingkan pada ke dua ketinggian tempat (mdpl) lainnya.

Penggunaan regresi berganda dimaksudkan untuk mengetahui hubungan cuaca dan patogen terhadap intensitas penyakit busuk buah kakao. Faktor cuaca dan patogen yang disebut sebagai peubah bebas (independent) terdiri dari kelembaban udara (X_1), suhu udara (X_2), curah hujan (X_3), hari hujan (X_4), kecepatan angin (X_5), lama penyinaran (X_6), dan jumlah spora tertangkap diudara (X_7), sedangkan faktor peubah tak bebas (dependent) adalah penyakit busuk buah yang dalam hal ini adalah intensitas penyakit (Y).

Pengamatan faktor peubah tak bebas (dependent) yang diberi simbol (Y) yaitu intensitas penyakit awal (X_0). Interval waktu pengamatan faktor dependent (Y) dilakukan selama 1 (satu) minggu. Pengamatan intensitas penyakit awal (X_0) pada

saat buah kakao berumur 3 bulan setelah fase pembungaan dan pengamatan terakhir intensitas penyakit (X_9) adalah pada saat umur buah kakao menjelang panen (5-6 bulan). Sedangkan pengamatan faktor peubah bebas (independent) yang diberi symbol (X_1, X_2 …...Xn) dilakukan setiap hari selama 3 (tiga) bulan. Data faktor peubah bebas (X_1, X_2 …...Xn) yang digunakan dalam pendugaan model regresi berganda yaitu data rata-rata 4 hari secara berturut-turut sebelum pengamatan faktor dependent (X_0). Sebagai contoh misalnya pada penelitian ini data faktor peubah bebas (X_1, X_2 …...Xn) adalah data rata-rata tanggal 20, 21, 22, dan 23 Maret 2020 sebelum pengamatan faktor dependent (X_0) dilaksanakan tanggal 24 Maret 2020. Pengamatan berikutnya tanggal 27, 28, 29, dan 30 Maret 2020 seterusnya sampai pada tanggal 15,16,17 dan 18 Mei 2020 sebelum pengamatan faktor dependent (Y) ke 9 pada tanggal 19 Mei 2020.

Penentuan waktu pengamatan 4 (empat) hari berturut-turut faktor peubah bebas (X_1, X_2 ...Xn) yang digunakan dalam pendugaan model regresi berganda didasarkan pada masa inkubasi penyakit busuk buah kakao adalah 2-4 hari berdasarkan hasil penelitian. Buah yang masih muda (panjang buah <10 cm), relatif lebih cepat menunjukkan gejala setelah diinokulasi dibandingkan dengan buah yang sudah besar (matang). Menurut Opeke dan Gorenz (1974), bahwa gejala penyakit busuk buah kakao baru dapat terlihat setelah 24-36 jam atau 2-3 hari diinokulasi pada kondisi lingkungan yang lembab.

Hasil pengamatan faktor peubah bebas (X_1, X_2 …...Xn) dan faktor peubah tak bebas (Y) pada ketinggian 140-149 disajikan pada Tabel 6.2. Hasil analisis sidik ragam regresi (Program Stat versi 2.6) pengamatan faktor peubah bebas (X_1, X_2 ...Xn) terhadap faktor peubah tak bebas (Y) pada ketinggian 140-149 mdpl sebagaimana disajikan pada Tabel 6.2, menunjukkan bahwa faktor peubah bebas (X_1, X_2 ...X_7) meliputi kelembaban udara (X_1), suhu udara (X_2), curah hujan (X_3), hari hujan (X_4), kecepatan angin (X_5), lama penyinaran (X_6), dan jumlah spora tertangkap diudara (X_7) mempunyai hubungan yang nyata atau signifikan terhadap faktor peubah tak bebas (Y), mempunyai hubungan yang nyata atau signifikan terhadap faktor peubah tak bebas (Y), dengan koefisien determinasi (R^2)

sebesar 0.963. Artinya bahwa intensitas penyakit (Y) sebanyak 96,3% dipengaruhi oleh ke tujuh faktor peubah bebas secara bersama-sama, sementara sisanya sebesar 4% tidak dapat ditentukan. Sementara untuk mengetahui hubungan keeratan antara faktor peubah bebas (X_1, X_2...X_7) terhadap faktor peubah tak bebas (Y) adalah membandingkan nilai korelasi (r) yang diperoleh yaitu 0.981 dengan daftar tabel r pada taraf signifikan 5% pada nilai *df* 7, diperoleh nilai r tabel sebesar 0.666. Hal ini berarti terdapat korelasi nyata (signifikan) pengaruh faktor peubah bebas (X_1, X_2...X_7) terhadap faktor peubah tak bebas (Y) pada ketinggian 140-149 mdpl.

Tabel 6.2. Pengamatan cuaca dan jumlah spora terhadap intensitas penyakit (%) pada ketinggian 140-149 mdpl

Pengamatan								
Ke-	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y
1	85,3	27,1	46,7	1,0	1,3	41,3	1,6	1,4
2	87,6	25,4	24,4	3,0	1,0	54,8	2,1	2,4
3	85,1	26,0	25,0	4,0	1,8	81,5	2,5	4,0
4	84,5	26,2	14,1	3,0	1,3	58,5	3,1	6,3
5	85,1	26,4	15,5	3,0	1,0	83,8	2,1	9,2
6	85,8	26,8	72,2	2,0	1,3	85,0	2,8	14,3
7	87,4	26,5	73,6	4,0	1,8	61,3	3,3	20,6
8	84,4	26,5	20,0	3,0	1,8	63,3	7,6	29,1
9	85,9	26,5	32,2	3,0	1,5	66,8	5,6	35,6

Keterangan: X_1=kelembaban udara (%), X_2=suhu udara (^oC), X_3=curah hujan (mm), X_4=hari hujan, X_5=kecepatan angin (km/jam), X_6=lama penyinaran (%), X_7=jumlah spora tertangkap diudara (cm^2), Y intensitas penyakit (%). Tambahan : X_5 dan X_6 (diperoleh dari BMKG setempat).

Data pengamatan faktor peubah bebas (X_1, X_2...X_7) terhadap faktor peubah tak bebas (Y) sebagaimana pada Tabel 6.2 menunjukkan adanya variasi baik pada faktor peubah bebas

(X_1, X_2...X_7) maupun faktor peubah tak bebas (Y) pada setiap waktu pengamatan berdasarkan ketinggian tempat. Salah satu contoh adalah faktor peubah bebas (X_7) yaitu jumlah spora yang tertangkap. Bardasarkan hasil penelitian, menunjukkan bahwa jumlah spora *P. palmivora* yang tertangkap pada pengamatan minggu ke 8 (bulan Mei minggu ke 2) jumlah spora yang tertangkap pada lokasi 140-149 mdpl, lebih banyak dibandingkan dengan pengamatan-pengamatan lainnya. Rata-rata jumlah spora yang tertangkap pada masing-masing ketinggian tempat adalah 2,6 (cm^2) pada ketinggian 8-11 mdpl, 3,4 (cm^2) pada ketinggian 140-149 mdpl, dan 2,1 (cm^2) pada ketinggian 301-305 mdpl. Data tersebut menunjukkan bahwa pada ketinggian 140-149 mdpl jumlah spora yang tertangkap cenderung lebih banyak dibandingkan dengan ketinggian 8-11 mdpl dan 301-305 mdpl. Hal ini menunjukkan, terdapat kecenderungan jumlah spora *P. palmivora* yang tersedia atau tertangkap lebih banyak akan di ikuti oleh tingkat kejadian penyakit dan intensitas penyakit lebih besar. Akan tetapi hal ini tidak berlaku mutlak. Artinya jumlah spora *P. palmivora* yang tersedia atau tertangkap lebih banyak belum tentu tingkat kejadian penyakit dan intensitas penyakit lebih besar. Sebaliknya jumlah patogen yang tersedia terbatas atau kecil belum tentu tingkat kejadian penyakit dan intensitas penyakit rendah. Hal ini disebabkan karena masih ada faktor lain yang berbengaruh, baik secara langsung maupun secara tidak langsung terhadap kejadian dan perkembangan penyakit, yaitu faktor tanaman inang dan faktor lingkungan.

Daur hidup jamur *P. palmivora* menyebar dari satu buah ke buah lain yang sehat dengan menggunakan zoospora atau sporangium. Apabila sporangium telah masak maka akan terlepas dari sporangiosfornya. Dalam keadaan udara kering selama periode 12 jam, dapat ditangkap dekat buah yang terserang *P. palmivora* sebanyak 2-5 sporangia per cm^2 dan pada waktu hujan turun dapat ditangkap sebanyak 20 sporangia per cm^2. Jadi percikan air hujan membantu terjadinya peristiwa ini (Thorold, 1975 *dalam* Sukamto, 1985). Berat ringannya penyakit busuk buah sangat ditentukan kelembaban udara, curah hujan, cara bercocok tanam, banyaknya buah pada pohon dan jenis atau kelompok tanaman yang dibudidaya (Purwantara

1990; Semangun, 2000). Hasil-hasil penelitian Sastrahidayat (2012), menyebutkan bahwa jumlah spora *Phakopsora vitis* tidak memberikan pengaruh secara langsung terhadap perkembangan penyakit karat daun pada anggur walaupun memberikan nilai relatif tinggi secara total, tetapi kontribusi terbesar diberikan melalui curah hujan. Selanjutnya pada penyakit embun palsu pada anggur, jumlah spora di udara memberikan pengaruh positif bagi perkembangan epidemi penyakit. Sementara Sutarman *et al*. (2004), menyebutkan bahwa jumlah konidiospora *Pestatolia theae* yang tertangkap di udara tidak nyata perannya atau tidak berpengaruh dalam peningkatan intensitas penyakit hawar daun bibit *Pinus merkussi*.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa faktor peubah bebas (X_1, X_2...X_7) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besar kecilnya penyakit busuk buah/peubah tak bebas (Y) pada 3 (tiga) ketinggian tempat yang berbeda. Akan tetapi, ke tujuh faktor peubah bebas (X_1, X_2...X_7) yang memberikan pengaruh secara langsung atau dominan terhadap besar kecilnya faktor peubah tak bebas (Y) belum dapat diketahui. Pengetahuan tentang faktor peubah bebas (X_1, X_2...X_7) yang memberikan pengaruh secara langsung atau tidak langsung terhadap faktor peubah tak bebas (Y) adalah melalui analisis path.

Hasil analisis path hubungan faktor peubah bebas (X_1, X_2...X_7) terhadap faktor peubah tak bebas (Y) pada 3 (tiga) ketinggian tempat yang berbeda disajikan pada Tabel 6.3.

Tabel 6.3. Koefisien path hubungan antara factor cuaca dan jumlah spora terhadap intensitas penyakit busuk buah kakao pada ketinggian tempat 140-149 mdl

	Cuaca dan spora	Koefisien path analisis
		140-149 mdpl
A.	X1 (Kelembaban udara)	
1	Total	-0,0266
2	Langsung	0,6194
3	Melalui :	

-	Suhu	-0,2649
-	Curah hujan	-0,1449
-	Hari hujan	0,0569
-	Kecepatan angin	0,0231
-	Lama penyinaran	-0,0369
-	Jumlah spora	-0,2794
B.	X2 (Suhu udara)	
1	Total	0,2663
2	Langsung	0,7324
3	Melalui :	
-	Kelembaban	-0,2240
-	Curah hujan	-0,1423
-	Hari hujan	-0,1610
-	Kecepatan angin	-0,0315
-	Lama penyinaran	-0,0134
-	Jumlah spora	0,1061
C.	X3 (Curah hujan)	
1	Total	0,1372
2	Langsung	-0,2885
3	Melalui :	
-	Kelembaban	0,3110
-	Suhu	0,3613
-	Hari hujan	-0,0494
-	Kecepatan angin	-0,0384
-	Lama penyinaran	0,0034
-	Jumlah spora	-0,1622
D.	X4 (Hari hujan)	
1	Total	0,2314
2	Langsung	0,2728
3	Melalui :	
-	Kelembaban	0,1292
-	Suhu	-0,4324
-	Curah hujan	0,0522
-	Kecepatan angin	-0,0755
-	Lama penyinaran	0,0764

-	Jumlah spora	0,2087
E.	X5 (Kecepatan angin)	
1	Total	0,4859
2	Langsung	-0,1613
3	Melalui :	
-	Kelembaban	-0,0889
-	Suhu	0,1430
-	Curah hujan	-0,0687
-	Hari hujan	0,1276
-	Lama penyinaran	0,0103
-	Jumlah spora	0,5239
F.	X6 (Lama penyinaran)	
1	Total	0,1449
2	Langsung	0,2017
3	Melalui :	
-	Kelembaban	-0,1132
-	Suhu	-0,0487
-	Curah hujan	-0,0049
-	Hari hujan	0,1033
-	Kecepatan angin	-0,0082
-	Jumlah spora	0,0149
G.	X7 (spora)	
1	Total	0,8621
2	Langsung	0,9399
3	Melalui :	
-	Kelembaban	-0,1841
-	Suhu	0,0827
-	Curah hujan	0,0498
-	Hari hujan	0,0606
-	Kecepatan angin	-0,0899
-	Lama penyinaran	0,0032

Keterangan: X_1=kelembaban udara (%), X_2=suhu udara (^oC), X_3=curah hujan (mm), X_4=hari hujan, X_5=kecepatan angin (km/jam), X_6=lama penyinaran (%), X_7=jumlah spora tertangkap diudara (cm^2), Y= intensitas penyakit

(%). Tambahan : X_5 dan X_6 (diperoleh dari BMKG setempat)

Hubungan faktor cuaca dan jumlah spora terhadap intensitas penyakit (Y) busuk buah kakao berdasarkan hasil analisis path pada ketinggian 140-149 mdpl menunjukkan bahwa efek total terbesar berturut-turut adalah 0,86 jumlah spora (X_7), 0,48 kecepatan angin (X_5), 0,26 suhu udara (X_2) dan 0,23 hari hujan (X_4). Sementara faktor yang berpengaruh secara langsung terhadap intensitas penyakit (Y) terbesar masing-masing adalah jumlah spora (X_7) sebesar 0,93 lebih besar dari efek totatnya, suhu udara (X_2) sebesar 0,73, kelembaban udara (X_1) sebesar 0,61 dan curah hujan (X_3) sebesar -0,28. Faktor cuaca kecepatan angin (X_5) mempunyai efek total besar yaitu 0,48 tetapi pengaruh langsung relatif kecil yaitu -0,16. Pengaruh besarnya efek total pada kecepatan angin melalui jumlah spora sebesar 0,52.

Berdasarkan hasil analisis path tersebut maka dapat diketahui pada ketinggian 140-149 mdpl yang memberikan pengaruh langsung dan dominan terhadap perkembangan penyakit busuk buah kakao adalah jumlah spora (X_7), suhu udara (X_2), kelembaban udara (X_1), dan hari hujan (X_4). Faktor cuaca dominan yang telah diketahui kemudian dilanjutkan dengan analisis path untuk memperoleh model matematik regresi berganda. Hasil analisis path diperoleh model matematik persamaan regresi berganda sebagaimana pada persamaan 1 berikut :

$$Y = -603{,}01 + 3{,}61\ X_1 + 10{,}60\ X_2 + 2{,}84\ X_4 + 5{,}48\ X_7 \quad ....(1)$$

Model matematik persamaan regresi berganda inilah yang digunakan untuk memprediksi intensitas penyakit busuk buah kakao pada ketinggian 140-149 mdpl. Berdasarkan persamaan tersebut, dapat diketahui nilai penyakit busuk buah kakao akibat pengaruh faktor cuaca. Sebagai contoh dengan menggunakan data cuaca X1, X2, X4 dan X7 pada pengamatan pertama (Tabel 6.3) maka diperoleh besarnya nilai penyakit sebesar 2,69% dan jika menggunakan data pengamatan kedua diperoleh nilai Y adalah sebesar 2,49%. Berdasarkan persamaan regresi berganda dapat juga diketahui setiap kenaikan 1 satuan nilai X. Jika

terdapat kenaikan 1 satuan nilai X1 maka akan terjadi kenaikan 3,61% nilai penyakit busuk buah. Seterusnya apabila terjadi kenaikan 1 satuan nilai X2, X4 dan X7 maka akan terjadi kenaikan nilai Y masing-masing sebesar 10,60%, 2,84%, dan 5,48 %. Hasil analisis path hubungan faktor cuaca dan jumlah spora yang dominan memberikan pengaruh secara langsung disajikan pada Tabel 6.4.

Berdasarkan hasil analisis path faktor cuaca dominan dan jumlah spora sebagaimana pada Tabel 6.4, menunjukkan bahwa jumlah spora (cm^2) memberikan pengaruh langsung cukup tinggi yaitu 0,86, diiukuti suhu udara yaitu sebesar 0,41, kelembaban udara sebesar 0,33 dan hari hujan sebesar 0,23. Hal ini memperlihatkan pengaruh langsung terhadap penyakit busuk buah sebesar 90% dipengaruhi oleh keempat faktor tersebut, dan sisanya sebesar 10% tidak dapat ditentukan dengan nilai koefesien determinasi sebesar 0,90 atau 90.

Tabel 6.4. Koefisien path hubungan antara factor cuaca Dominan terhadap intensitas penyakit pada ketinggian tempat 140-149 mdpl

Cuaca dan spora	Koefisien path analisis
	140-149 mdpl
A. X1 (Kelembaban udara)	
1 Total	-0.0266
2 Langsung	0.3374
3 Melalui :	
- Suhu	-0.1508
- Hari hujan	0.0448
- Jumlah spora	-0.2850
B. X2 (Suhu udara)	
1 Total	0.2663
2 Langsung	0.4170
3 Melalui :	
- Kelembaban	-0.1220
- Hari hujan	-0.1267
- Jumlah spora	0.0980
C. X4 (Hari hujan)	
1 Total	0.2314
2 Langsung	0.2146
3 Melalui :	
- Kelembaban	0.0704
- Suhu	-0.2462
- Jumlah spora	0.1926
D. X7 (Jumlah spora)	
1 Total	0.8676
2 Langsung	0.8621
3 Melalui :	
- Kelembaban	-0.1003
- Suhu	0.0471
- Hari hujan	0.0477

Keterangan: X_1=kelembaban udara (mm), X_2= suhu udara (^oC) X_4=hari hujan, dan X_7=jumlah spora tertangkap diudara (cm^2)

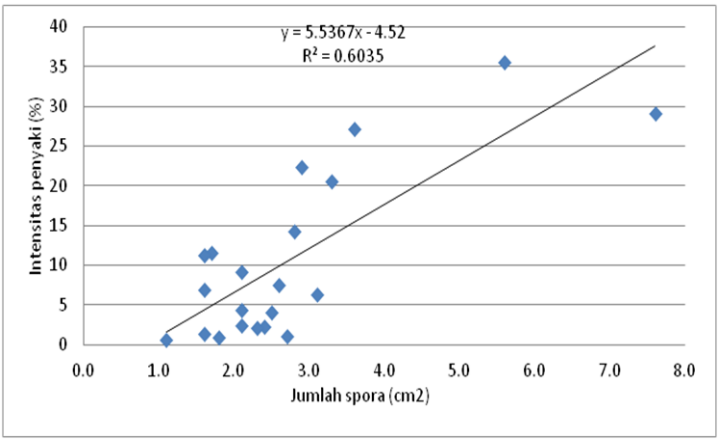
6.2.2. Model parsial

Model parsial dimaksudkan untuk mengetahui pola hubungan pengaruh parsial peubah bebas (X) yang dominan terhadap peubah tidak bebas (Y) berdasarkan hasil analisis path. Model yang dipilih didasarkan pada pertimbangan koefisien determinasi (R^2) yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan semakin besar nilai determinasi (R^2) mendekati 1, semakin dapat dipertanggung jawabkan. Beberapa model yang dicobakan pada model parsial adalah model linear, eksponensial, logaritma, dan polynomial.

Hasil pengujian terhadap beberapa model yang dicobakan, diperoleh faktor peubah bebas yang dominan memberikan pengaruh secara parsial terhadap intensitas serangan penyakit busuk buah kakao adalah jumlah spora (cm^2), curah hujan (mm) dan suhu udara (^oC). Model pola hubungannya terhadap Y disajikan pada Gambar 6.1 s/d 6.4.

Model parsial pada Gambar 6.1, menunjukkan bahwa peningkatan jumlah jumlah spora (cm^2) akan diikuti oleh peningkatan intensitas penyakit busuk buah, dengan persamaan matematik adalah :

$$y = 5.5367\ x - 4.52 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\ 2\ )$$



Gambar 6.2. Model pola hubungan jumlah spora terhadap intensitas penyakit

Berdasarkan persamaan 2, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) adalah 0,6035, yang berarti besarnya nilai Y ditentukan sebanyak 60,35% jumlah spora yang tersedia. Sementara keeratan hubungan secara parsial berdasarkan nilai korelasi (r) adalah 0,77. Nilai korelasi tersebut menurut Sarwono (2002) adalah mempunyai hubungan sangat kuat yaitu (> 0,75 – 0,99). Hal ini dapat ditunjukan oleh pengaruh langsung jumlah spora terhadap intensitas serangan pada tiga ketinggian tempat yaitu 0,8232 (8-11 mdpl), 0,93399 (140-149 mdpl).

Intensitas serangan pada awalnya adalah rendah, kemudian mengalami peningkatan dengan bertambahnya jumlah spora cm^2. Intensitas serangan baru mencapai 1% pada saat jumlah spora adalah 1 per cm^2, kemudian terjadi peningkatan menjadi 6 – 7 % pada saat jumlah spora (cm^2) adalah sebanyak ± 2 per cm^2. Selanjutnya terjadi peningkatan intensitas serangan mencapai ± 35% pada saat jumlah spora ± 7 per cm^2. Peningkatan ini akan terus berlanjut, jika masih tersedia substrat (buah kakao) dan lingkungan mendukung. Sebaliknya, akan mengalami stagnan bahkan cenderung menurun jika terbatasnya substrat seiring dengan waktu panen kakao.

Secara teoritis, satu agensi infektif atau satu spora *Phytopthora palmivora* sudah dapat menginfeksi buah kakao, sepanjang kondisi lingkungan terutama adanya air yang tersedia baik air hujan maupun air karena kondensasi, suhu udara rata-rata 25-27 ^oC dan kelembaban udara di atas 85%. Akan tetapi, pada umumnya terjadinya infeksi diperlukan lebih banyak inokulum yang tersedia, Banyaknya inokulum yang tersedia dan lingkungan yang mendukung, tetapi tanpa inang (buah kakao) infeksi tidak akan terjadi. Begitu pula, adanya inang, faktor lingkungan mendukung, tetapi tidak tersedia agensia infektif patogen penyebab penyakit, maka infeksi juga tidak akan terjadi.

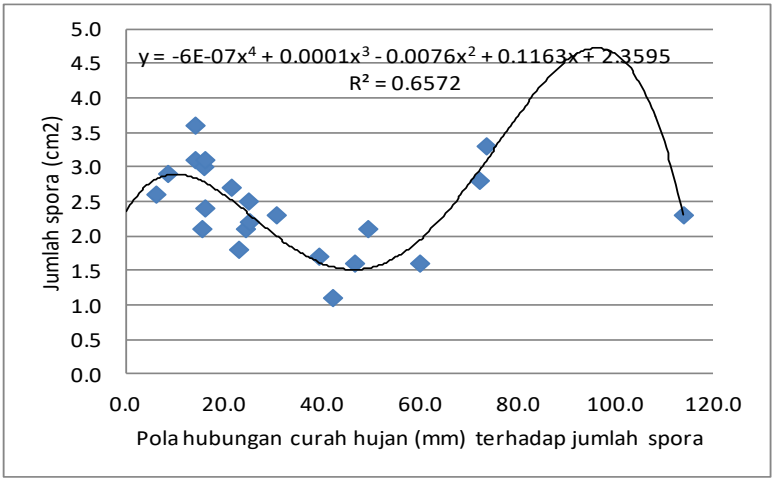
Teori segi tiga penyakit (inang, patogen dan lingkungan), bahwa infeksi akan terjadi jika terdapat interaksi antara ketiga faktor tersebut yaitu buah kakao yang tersedia sepanjang bulan Januari - Mei, spora *Phytopthora palmivora* agresif, pada kondisi lingkungan suhu udara 25-27 ^oC dan kelembaban udara di atas 85%. Terbatasnya substrat (inang buah kakao) pada bulan Mei pada saat bertambahnya jumlah spora *Phytopthora*

palmivora ± 8 per cm^2 justru terjadi penurunan intensitas serangan jika menggunakan model polynomial ordo. Hal ini mengikuti teori segi tiga penyakit karena ketiga faktor tersebut tidak dalam keseimbangan yaitu bertambahnya agensi infektif disaat terbatas inang yang tersedia.

Model parsial pada Gambar 29, menunjukkan bahwa pola hubungan curah hujan memberikan pengaruh positif terhadap jumlah spora (cm^2). Hal ini dapat juga dilihat pada masing-masing lokasi pengamatan yaitu pada bulan Mei banyaknya hari hujan dan jumlah curah hujan (mm), maka jumlah spora yang tertangkap relatif lebih banyak yaitu (cm^2) 6 – 7 per cm^2 pada ketinggian 140-149 mdpl sebagaimana pada Gambar 6.3. Sehingga peningkatan curah hujan pada jumlah tertentu akan meningkatkan jumlah spora. Model persamaan matematik adalah :

$$Y = -6E\text{-}07x^4 + 0.0001x^3 - 0.0076x^2 + 0.1163x + 2.3595 \quad ..(3)$$

Berdasarkan persamaan 10, diperoleh koefeisien determinasi (R^2) adalah 0,6572, yang berarti besarnya jumlah spora (cm^2) ditentukan sebanyak 65,72% curah hujan (mm). Sementara keeratan hubungan secara parsial berdasarkan nilai korelasi (r) adalah 0,81. Nilai korelasi tersebut adalah mempunyai hubungan sangat kuat (> 0,75 – 0,99).



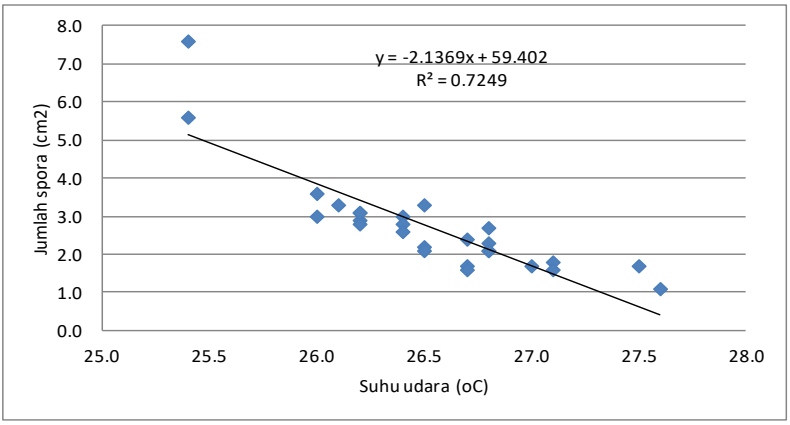
Gambar 6.3. Model pola hubungan curah hujan terhadap jumlah spora

Bertambahnya jumlah spora yang tertangkap atau tersedia pada saat terjadinya hujan disebabkan karena pola penyebaran spora *Phytophthora palmivora* adalah melalui hujan, disamping dapat juga oleh serangga dan angin. Dengan bertambahnya spora atau agensia infektif pada saat terjadinya hujan, maka intensitas serangan akan meningkat. Jadi sesungguhnya, peningkatan intensitas serangan penyakit busuk buah pada musim hujan adalah karena bertambahnya jumlah spora yang dapat melakukan sporulasi, penyebaran sampai terjadinya infeksi pada buah kakao. Menurut Thorold (1975) *dalam* Sukamto (1985), bahwa dalam keadaan udara kering selama periode 12 jam, spora dapat ditangkap dekat buah yang terserang *P. palmivora* sebanyak 2-5 sporangia per cm^2 dan pada waktu hujan turun dapat ditangkap sebanyak 20 sporangia per cm^2. Hal ini berarti, percikan air hujan membantu terjadinya penyebaran spora.

Pengaruh curah hujan dengan intensitas serangan karena banyak spora yang mampu bersporulasi hingga dapat menginfeksi adalah pada lamanya tingkat kebasahan buah kakao. Buah kakao akan terinfeksi, jika buah dalam keadaan lembab atau basah dalam waktu tertentu. Menurut Purwantara (1990), proses pelepasan, perkecambahan, dan infeksi penyakit busuk buah kakao oleh *P. palmivora* memerlukan adanya air selama ± 3 - 4 jam pada buah kakao. Selanjunya menurut Purwantara dan Parawirosoemardjo (1990) bahwa variasi perkembangan penyakit berkorelasi positif dengan variasi curah hujan. Faktor lingkungan yang memberikan pengaruh terhadap infeksi busuk buah kakao adalah curah hujan dan kelembaban (Efombagn *et al*., 2004). Menurut Ward (1981), lapisan air pada permukaan buah merupakan syarat penting untuk perkembangan penyakit, mengingat ketersediaan air adalah salah satu kondisi yang diperlukan untuk perkecambahan spora dan proses infeksi pada buah.

Model parsial pada Gambar 6.3, menunjukkan bahwa suhu udara antara 25 – 27,5 ^{o}C memberikan pengaruh negatif terhadap pertambahan jumlah spora. Artinya setiap peningkatan suhu udara terjadi penurunan jumlah spora yang tersedia. Kisaran suhu udara 25-27,5 ^{o}C sporangium *Phytophthora palmivora* dapat melakukan sprorulasi, penyebaran, sampai

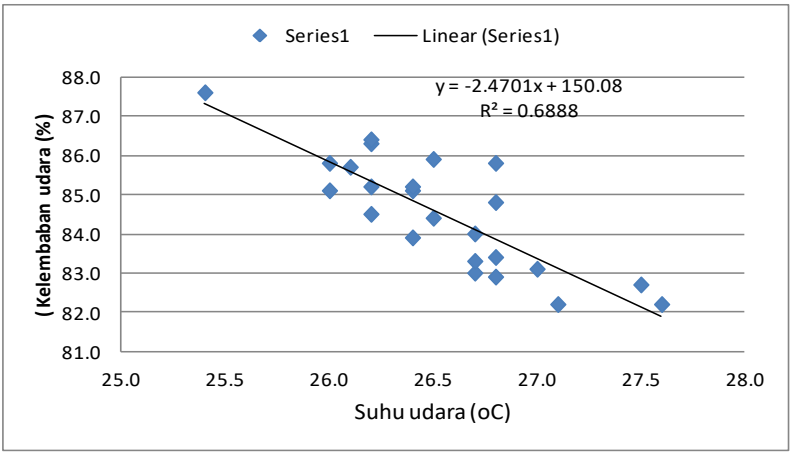
dapat menginfeksi buah kakao. Model persamaan matematik adalah Y = -2.1369+39.405 …… (3)



Gambar 6.4. Model pola hubungan suhu udara terhadap jumlah spora

Berdasarkan persamaan 3, diperoleh koefeisien determinasi (R^2) adalah 0,7249, yang berarti besarnya jumlah spora (cm^2) ditentukan sebanyak 72,49% oleh suhu udara (^oC). Sementara keeratan hubungan secara parsial berdasarkan nilai korelasi (r) adalah 0,85. Nilai korelasi tersebut secara statistik adalah mempunyai hubungan keeratan yang sangat kuat.

Secara teoritis, peningkatan suhu udara akan diikuti oleh penurunan kelembaban udara. Sebaliknya makin rendah suhu, makin tinggi kelembaban udara. Hasil analisis regresi hubungan fungsional suhu udara terhadap kelembaban udara disajikan pada Gambar 6.4.



Gambar 6.5. Model pola hubungan suhu udara terhadap kelembaban

Berdasarkan Gambar 6.4, bahwa pada saat suhu udara 25,5 ^{o}C maka kelembaban adalah 87% dan pada saat suhu udara meningkat menjadi 27,5% maka kelembaban udara menurun menjadi 82%. Model persamaan matematik adalah :

$$Y = -2.4701x + 150.08 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Persamaan 4, diperoleh koefeisien determinasi (R^2) adalah 0,6888 yang berarti besarnya nilai kelembaban udara ditentukan sebanyak 68,88% oleh suhu udara (^{o}C). Sementara keeratan hubungan secara parsial berdasarkan nilai korelasi (r) adalah 0,82. Nilai korelasi tersebut secara statistik adalah mempunyai hubungan keeratan yang sangat kuat.

Peranan suhu udara terhadap intensitas serangan adalah melalui kelembaban udara. Artinya, makin rendah suhu udara akan semakin tinggi kelembaban udara, sehingga semakin lama buah kakao tingkat kebasahan permukaan buah. Pada saat permukaan buah basah (3-4 jam) dengan suhu udara 25,5 ^{o}C dan kelembaban udara 87% serta tersedia spora *P. palmivora*, maka pada buah kakao tersebut sporangia dapat berkecambah secara langsung dengan membentuk pembuluh kecambah, atau secara tidak langsung dengan membentuk zoospore. Lamanya waktu sporulasi sampai terjadi infeksi berdasarkan hasil inokulasi pada kondisi lingkungan kelembaban 85% dan suhu 25-27 ^{o}C, maka dalam waktu 3-4 hari buah yang dinokulasi

sudah menunjukkan gelaja penyakit busuk buah kakao. Menurut Tarjot (1974), bahwa proses penetrasi melalui zoozpora dengan membentuk hifa khusus yang mampu menembus kutikula dan dinding sel epidermis, sehingga dapat masuk dan menginfeksi bagian buah di dalamnya. Hal ini berarti, semakin banyak inokulum yang tersedia, pada kondisi suhu dan kelembaban tersebut, maka semakin besar terjadinya infeksi. Menurut Tarjot (1974), bahwa pelepasan zoospore membutuhkan suhu optimum 15-18 ^{o}C. Sementara menurut Purwantara (1990), bahwa pelepasan dan perkecambahan zoozpora terjadi pada suhu 15 – 30 ^{o}C sedangkan infeksi pada buah kakao terjadi pada suhu 20-30°C.

BAB 7
PENGELOLAAN PENYAKIT BUSUK BUAH KAKAO

7.1. Pengelolaan penyakit busuk buah secara epidemiologi

Hubungan epidemiologi dengan pengendalian penyakit tumbuhan dapat didasarkan pada rumus perkembangan penyakit $X_t = X_0e^{rt}$ yang menunjukkan jumlah penyakit yang muncul sangat dipengaruhi oleh inokulum awal (X_0), kecepatan pertambahan penyakit (r) dan waktu (t). Epidemi penyakit tanaman dapat diklasifikasikan ke dalam dua tipe dasar, monosiklik dan polisiklik, tergantung pada jumlah siklus infeksi per siklus panen. Tahapan awal dari epidemi monosiklik dapat digambarkan dengan jelas oleh model linier, sedangkan tahap awal dari epidemi polisiklik dapat digambarkan dengan model eksponensial. Karena kita bertujuan untuk menjaga tingkatan penyakit di bawah 100%, maka tidak diperlukan untuk menyesuaikan model agar mendekati batas atas (upper limit), dan kita dapat menggunakan model linier dan eksponensial sederhana untuk merancang strategi pengendalian. Model monosiklik menggunakan persamaan X = QRt dan model polisiklik menggunakan persamaan $X = X_0e^{rt}$.

Berdasarkan rumus kedua model tersebut diatas, dapat dilihat bahwa terdapat tiga cara untuk dapat mengurangi x pada setiap epidemi:

1. Mengurangi inokulum awal (**Q** dalam model monosiklik dan $\mathbf{x_0}$ dalam model polisiklik). (Sebenarnya x_0 ialah kejadian penyakit, yang sebanding dengan nilai inokulum awal).
2. Mengurangi laju infeksi (**R** dalam model monosiklik dan **r** dalam model polisiklik).
3. Mengurangi waktu terjadinya epidemi (waktu, **t**, dari awal sampai akhir dari suatu epidemi).

Semua ini, dapat digunakan sebagai tiga strategi utama untuk mengatasi epidemik penyakit tanaman, dan kita dapat mengorganisir teknik pengendalian tanaman. Selain itu, dengan menggunakan model maka dapat menghitung pengaruh kuantitatif dari masing-masing strategi pengendalian, tidak hanya satu strategi, melainkan interaksinya dengan strategi lain.

Pengendalian penyakit busuk buah kakao dari pendekatan epidemiologi hanya dapat memanfaatkan dua variabel yaitu mengusahakan agar inokulum awal (X_0) selalu

serendah-rendahnya dengan cara melakukan sanitasi (pemangkasan pohon dan pohon pelindung agar kelembaban dapat dikurangi), mengendalikan gulma dan memetik buah yang sakit atau terinfeksi, melakukan panen sering. Aplikasi pestisida yang efektif pada saat-saat tertentu, baik yang terdapat dalam tanah maupun dipohon, juga dapat menurunkan X_0.

Memanfaatkan variabel kedua yaitu menurunkan laju infeksi r dengan menggunakan varietas (klon) tahan terhadap penyakit busuk buah kakao. Varietas forastero memiliki ketahanan lebih baik terhadap penyakit busuk buah, dibandingkan dengan varietas criolla dan trinitario. Patogen *P. palmivora* berkembang mengikuti pola bunga majemuk kontinu (Oka, 1993). Namun belum diketahui apakah spesies patogen ini mudah membuat ras-ras baru atau tidak seperti *Phytopthora investans* pada tanaman kentang.

7.2. Model perkembangan penyakit

Model perkembangan penyakit adalah gambaran peningkatan intensitas penyakit yang diregres menurut waktu, yang sebenarnya adalah kombinasi pengaruh inang, patogen dan lingkungan terhadap perkembangan penyakit. Salah satu tujuan mengukur perkembangan penyakit adalah agar dapat dijadikan sebagai alat untuk menganalisis perkembangan populasi penyakit menurut waktu, sekaligus juga untuk menganalisis penyebaran populasi penyakit dalam dimensi ruang (Rivai, 2010).

Model dibangun untuk memperoleh formulasi atau bentuk dari suatu sistem yang memberikan gambaran mengenai kebenaran sebenarnya (*real situation),* menjelaskan perkembangan suatu populasi patogen dan representasi abstrak dari suatu proses perkembangan yang dapat diilustrasikan dalam bentuk verbal, grafik atau persamaan matematik (Tarumingkeng, 1994). Menurut Agrios (1997), model yang disusun umumnya berbentuk sederhana yang hanya berupa garis besar epidemi. Analisis model matematik epidemi penyakit tumbuhan memberikan banyak informasi yang berkenaan dengan jumlah dan efikasi inokulum awal, pengaruh lingkungan, ketahanan tumbuhan inang terhadap penyakit, lama atau jangka

waktu inang dan patogen berinteraksi dan efektiitas beberapa strategi pengendalian penyakit tumbuhan.

Ahli penyakit tanaman menggunakan model-model matematika untuk tujuan analisis dan memahami dinamika penyakit. Model dicoba untuk menggambarkan dinamika perkembangan penyakit dalam bentuk persamaan matematik. Model ialah penyederhanaan dari keadaan sebenarnya dan digunakan dalam beberapa cara: (1) untuk membangun hipotesis, (2) untuk mengidentifikasi pertanyaan-pertanyaan penting untuk penyelidikan percobaan, dan (3) untuk mengembangkan prakiraan secara umum (Abadi, 2000). Kunci untuk memahami epidemi tidak lain ialah menilai kuantifikasi perkembangan epidemi tersebut terhadap waktu. Hubungan kuantifikasi ini dapat dilihat dan dipahami dengan mudah dengan bantuan model, karena model tidak lain ialah representase sederhana mengenai keadaan sebenarnya (nyata) yang terdapat di alam atau representase mengenai sesuatu yang terjadi atau diakui keberadaannya. Model perkembangan penyakit umumnya merupakan suatu bentuk hubungan regresi antara intensitas penyakit (Y) dan waktu (X), maka pegangan umum yang dapat dipedomani dalam menetapkan model yang tepat bagi perkembangan suatu penyakit ialah berdasarkan koefesien determinasi R^2 yang terbesar dari beberapa model yang dicobakan.

Model juga diketahui dapat membantu meramalkan kemungkinan tingkat serangan yang akan terjadi pada suatu waktu. Menurut Tarumingkeng (1994), bahwa dengan model, penjelasan mengenai sistem serta hubungan-hubungannya dapat diberikan secara kualitatif maupun kuantitatif dan memungkinkan untuk mengadakan ramalan atau prediksi mengenai keadaan populasi yang bersangkutan dalam waktu-waktu tertentu. Analisis statistik bertujuan untuk mengetahui apakah ada hubungan antara dua atau lebih peubah. Bila hubungan ini dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik, maka dapat digunakan untuk keperluan peramalan. Persamaan matematik yang memungkinkan untuk meramalkan nilai-nilai suatu peubah tak bebas dari nilai-nilai satu atau lebih peubah bebas disebut persamaan regresi, dan dalam persamaan

regresi ini akan dapat diduga atau diramalkan nilai peubah tak bebas Y berdasarkan peubah X.

Peubah tak bebas pada model epidemi penyakit busuk buah pada penelitian ini adalah intensitas penyakit (Y), sedangkan peubah bebasnya adalah (X) diantaranya kelembaban relatif (X_1), suhu udara (X_2), curah hujan (X_3), hari hujan (X_4), kecepatan angin (X_5), lama penyinaran (X_6), dan variasi jumlah spora yang tertangkap (X_7). Model-model epidemi potensial pada penyakit yang umum dan serius mulai dikembangkan para ahli penyakit tanaman sejak tahun 1960-an dengan melibatkan semua komponen dan sebanyak mungkin subkomponen penyakit tanaman spesifik berupa informasi perlakuan kuantitatif dan diformulasikan secara matematik. Hal ini dilakukan untuk memperbaiki kemampuan pemahaman dan perkiraan perkembangan suatu epidemi penyakit, pemetaan peran kompleks faktor yang memungkinkan untuk mengetahui besarnya pengaruh setiap faktor terhadap faktor lainnya dan mungkin merupakan penentu faktor yang perlu dikaji (Agrios, 1997).

Model dapat diartikan sebagai ekspresi bentuk sederhana dari suatu sistem yang sebenarnya, sehingga mempermudah tentang sistem itu sendiri namun sifat kesederhanaan tidak menghilangkan ciri-ciri penting dari sistem yang sebenarnya sehingga perilaku yang ada dalam sistem tersebut sama dengan yang ada dalam model (Rivai, 2005). Selanjutnya model ialah penyederhanaan dari suatu sistem nyata yang kompleks. Model bukan hanya miniatur dari sistem yang ada, namun lebih dari itu, model merangkum elemen-elemen penting dalam sistem (Kranz dan Royle, 1978). Terdapat dua jenis model dalam suatu penelitian yaitu *model mekanistik (model teoritis) dan model empiris (model korelatif atau model deskriptif).* Model mekanistik lebih tepat digunakan apabila suatu penelitian bertujuan untuk mengetahui respon dari sistem biologi dalam bentuk mekanisme yang sebenarnya. Model mekanistik dikembangkan dengan cara melihat struktur suatu sistem, membagi sistem kedalam komponen-komponenya dan mencoba untuk memahami perilaku sistem secara keseluruhan berdasarkan perilaku komponen individu dalam suatu sistem maupun interaksi antar komponen tersebut. Aplikasi model

mekanistik biasanya terlebih dahulu mengkonstruksikan model sebelum memulai penelitian dengan memikirkan mekanisme yang mungkin terjadi dan menyimpulkan konsekuensinya. Fungsi model ialah untuk menguji hipotesis, menjelaskan mekanisme dan memperbaiki mekanisme yang telah disusun sebelumnya, sedangkan model empiris dibangun dengan tanpa melihat tahapan struktur dari suatu sistem dan tanpa memberikan asumsi dari masing-masing komponen. Model empiris dapat terbangun dengan membuat persamaan matematika yang sesuai dengan data yang diperoleh. Penarikan kesimpulan dengan berdasarkan pada model empiris memerlukan analisa yang mendalam agar tidak terjadi kesalahan dalam menjelaskan mekanisme suatu sistem. Dalam penelitian model epidemi penyakit busuk buah, jenis model yang digunakan adalah model empiris berdasarkan data peubah bebas (X) yang diperoleh dilapangan yang mempengaruhi peubah terikat (Y).

Secara garis besarnya model matematika dan model statistika yang banyak digunakan dibagi atas dua macam yaitu model empirik dan teoritik (Rivai, 2005). Model empirik disebut juga model korelasi atau model deskripsi, digunakan untuk menjelaskan hubungan antara dua atau lebih variabel yang diamati. Model empirik dikembangkan berdasarkan sekumpulan data yang tersedia. Data harus tersedia lebih dahulu, baru kemudian ditentukan modelnya, sedang model teorotis disebut juga model mekanistik, model eksplanatori, model biologis atau model fisik. Pemakaian model ini didasarkan pada konsep, hipotesis atau teori jadi bukan karena ketersediaan data.

Tidak ada cara yang sempurna untuk mengklasifikasikan model dalam bidang pertanian. Hampir semua model epidemi dapat digolongkan ke dalam model analitik atau kedalam model simulasi. Model analitik ialah model yang sederhana bentuknya dan sering hanya terdiri atas sebuah persamaan dengan beberapa parameter biologis dan persamaan tersebut biasanya dapat diselesaikan dengan persamaan matematik. Model analitik epidemi penyakit dapat dianggap model untuk keseluruhan epidemi. Model simulasi biasanya terdiri atas sekelompok persamaan yang menerangkan sifat patosistem misalnya, secara

tidak langsung dapat menggambarkan pengaruh lingkungan terhadap aras subsistem patosistem tersebut (Rivai, 2005).

Menurut Kranz dan Royle (1978) *dalam* Sastrahidayat (1999), bahwa dalam hubungannya dengan epidemiologi terdapat tiga model yaitu :

1. Model deskriptif, merupakan ekspresi suatu hipotesis yang dibangun oleh pemikiran tertentu atau hasil-hasil penelitian yang sifatnya umum kepada penampakan proses epidemi tertentu seperti infeksi, inokulum, faktor lingkungan, perkembangan penyakit dan sebagainya. Dengan model ini maka faktor biologi yang terlibat dalam terjadinya epidemi penyakit coba dijabarkan dalam bentuk persamaan-persamaan sehingga mudah dipahami dinamikanya. Contoh dari tipe ini banyak dikaji oleh ahli penyakit tumbuhan ialah mengikuti madzhab Van Der Plank (1963) dalam mengukur laju infeksi penyakit.
2. Model prediksi, pada dasarnya cara ini pun termasuk deskriptif namun disusun dalam banyak veriabel dimana nilainya tergantung seberapa baik dalam meramalkan, kerena epidemi yang terjadi pada suatu ruang (kebun) pada suatu saat terjadi karena adanya proses interaksi dari segitiga penyakit maka kalau faktor inang dianggap homogen kerentanannya, maka faktor lingkungan dan biotis merupakan faktor penentu naik turunnya epidemi penyakit. Hubungan antara pengaruh kumulatif faktor lingkungan dan biotis terhadap epidemi penyakit inilah yang biasanya digunakan sebagai alat peramal yang dijelaskan dalam bentuk persamaan matematik/statistik dan karena data yang diperoleh masih berupa data mentah sehingga masih memerlukan proses analisis statistik sederhana seperti persamaan regresi-korelasi (pendekatan konvensional) atau dengan menggunakan analisis lintas (*path analysis*).
3. Model konseptual, model ini berusaha menggambarkan mekanisme sistem alamiah dalam suatu model atau dalam suatu seri sub model yang terikat bersama sebagai gambaran dari seluruh sistem atau sebagian sistem. Dengan demikan suatu sistem yang terdiri elemen-elemennya dan hubungan satu dengan lainnya akan mudah dipelajari. Desain model demikian disebut simulasi dan apabila berubah menurut

waktu disebut sebagai simulasi dinamik atau model dinamik. Dengan cara ini akan lebih dimengerti tentang hubungan yang kompleks diantara variabel epidemi.

Campbell dan Madden (1990) *dalam* Rivai (2006), mengemukakan delapan macam model perkembangan penyakit yang dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama terdiri dari lima model, yaitu kelompok model yang mempunyai paling banyak tiga parameter. Kelompok kedua ialah kelompok model yang mempunyai pamaremeter pembentuk model disamping satu model tambahan yang dinamakan *Area di Bawah Kurva Perkembangan Penyakit*. Model yang populer dan banyak dipakai ialah model logistik, Gompertz dan monomolekuler, yang ketiganya biasanya dinamakan kurva pertumbuhan kelompok Richard (Soto-Estrada dan Adaskoveg, 2004 *dalam* Rivai, 2006). Tiga model ini sudah lama dikembangkan dan telah menjadi dasar bagi banyak analisis kurva perkembangan penyakit. Umumnya kedelapan model digunakan dalam bentuk linearnya untuk menduga besarnya intensitas awal penyakit (Xo), laju infeksi (r), dan intensitas penyakit maksimum (K).

7.2.1 Model eksponensial

Model eksponensial perkembangan penyakit tumbuhan ialah yang paling sederhana, yang oleh Van Der Plank (1963) *dalam* Rivai (2006), diidentikkan secara matematika dengan perkembangan uang yang disimpan dalam bank dengan pola bunga majemuk. Disebut eksponensial karena setiap unit infeksi akan menghasilkan unit infeksi baru yang kemudian akan meningkatkan intensitas penyakit dengan cepat sekali yang secara teoritis tidak terbatas. Bentuk diferensiai model eksponensial ialah :

$$\frac{dx}{dt} = r_e x \quad \text{..... (1)}$$

Yang diintegralkan menjadi

$$X = x_0 e^{rt} = x_0 \exp(r_e t) \quad \text{..... (2)}$$

Model eksponensial dapat dipakai pada taraf awal perkembangan penyakit, saat x < 5%, atau paling besar x < 15%, dengan syarat jaringan atau organ yang dapat diserang tanpa batas. Model ini menggambarkan tahap-tahap awal epidemic penyakit polisiklis (Forrest, 2007 *dalam* Medina *et al*, 2009).

7.2.2 Model logistik

Model logistik umumnya digunakan untuk menganalisis perkembangan penyakit tumbuhan yang di sebabkan oleh patogen polisiklik. Model pertumbuhan ini yang paling banyak digunakan untuk menggambarkan epidemi penyakit tanaman (Segarra *et al*., 2001; Jeger, 2004 *dalam* Medina *et al*, 2009). Persamaan diferensial model ini ialah :

$$\frac{dx}{dt} = r_1 x (1 - x) \quad \text{.....} \quad (3)$$

n ialah parameter laju logistik dengan unit waktu^{-1} yang oleh Van derplank (1963) dinamakan laju infeksi nyata (*apparent infection rate*). Bentuk integral persamaan:

$$x = \frac{1}{1 + \left\{\left(\frac{1-x_0}{x_0}\right) \exp(-r_1 t)\right.} \quad \text{.....} \quad (4)$$

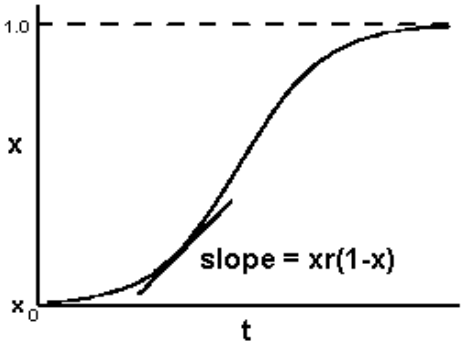
Apabila x diregres terhadap t, akan diperoleh grafik berbentuk sigmoid yang simetris pada titik infeksi (*infection point*) x = 0,5 dan t = -(ln (X_0/(1-X_0))]/r.

7.2.3 Model sigmoid

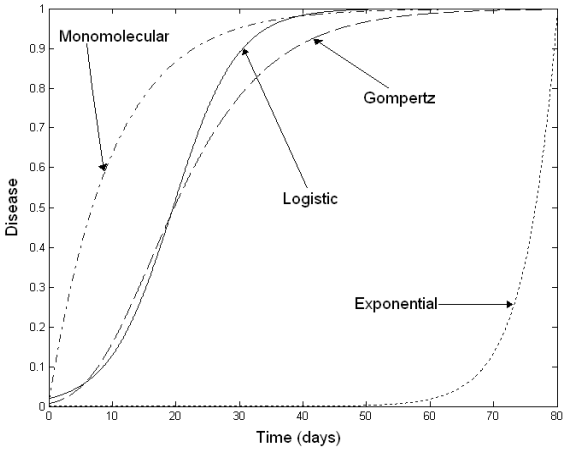
Model sigmoid yang terbentuk pada perkembangan epidemi penyakit diawali dengan pemahaman akan menurunnya atau keterbatasan penyediaan substrat oleh tanaman berupa jaringan hidup pada suatu periode siklus tertentu. Perubahan nilai x akibat diregres terhadap t yang mulanya menunjukkan epidemi terus meningkat dan perlahan menurun sebagai konsekuensi pertambahan infeksi penyakit, juga diiring dengan berkurangnya jaringan tanaman sehat dapat membentuk garis pertumbuhan penyakit berbentuk sigmoid. Secara umum pola pertumbuhan sigmoid mempunyai persamaan sebagai berikut : (Anonim 2004, *dalam* Mahjulan 2006).

$$Y = e^{(b0 + b1/x)} \quad \text{.....} \quad (5)$$

Sedangkan pola sigmoid yang dibentuk dari turunan model logistik dengan asumsi perkembangan epidemi penyakit dibatasi oleh pengaruh faktor tertentu dalam periode waktu. Kurva perkembangan penyakit disajikan pada Gambar 7.1 dan 7.2.



Gambar 7.1. Kurva perkembangan penyakit secara umum



Gambar 7.2. Kurva perkembangan penyakit monomolecular, eksponensial, logistik dan model Gompertz

Gambar 7.1 menunjukkan kurva perkembangan penyakit model Gompertz dan model logistik memiliki bentuk karakteristik sigmoid. Model eksponensial menyajikan nilai yang sangat kecil di awal dibandingkan dengan model-model lain dan terakhir meningkat secara eksponensial. Model monomolekuler menyajikan perkembangan penyakit meningkat sejak awal. Asumsi khas model monomolekuler menurut Rivai (2009) adalah tumbuhan sakit tidak dapat secara langsung menyebabkan tumbuhan lain sakit. Semua infeksi baru adalah fungsi pertambahan penyakit menurut waktu, sehingga hanya merupakan pertambahan pada infeksi sebelumnya.

BAB 8
PENUTUP

8.1. Kesimpulan

Penyusunan buku monograf perkembangan penyakit busuk buah kakao (P*hytopthora palmivora* butl.) Maluku Utara dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sebaran intensitas penyakit busuk buah kakao pada perkebunan rakyat di Maluku Utara mencapai 27,20 % sampai dengan 39,87 %.
2. Ketersedian jumlah spora yang tertangkap (X_7) memberikan kontribusi dominan dan pengaruh langsung terhadap intensitas penyakit busuk buah kakao pada areal perkebunan rakyat sebesar 0,93 berdasarkan hasil analisis path.
3. Faktor cuaca yang dominan dan memberikan pengaruh secara langsung terhadap intensitas penyakit busuk buah kakao berdasarkan hasil analisis path adalah suhu udara (X_2) sebesar 0,73; kelembaban udara (X_1) sebesar 0,61; dan hari hujan (X_4) sebesar -0,28.
4. Memperoleh model matematik persamaan regresi berganda pengaruh factor cuaca dan jumlah spora terhadap intensitas penyakit busuk buah kakao yang dapat digunakan sebagai proyeksi perkembangan penyakit diwaktu mendatang. $Y = -603{,}01 + 3{,}61\ X_1 + 10{,}60\ X_2 + 2{,}84\ X_4 + 5{,}48\ X_7$
5. Memperoleh model matematik persamaan regresi parsial pengaruh jumlah spora terhadap intensitas penyakit busuk buak kakao $Y = 5.5367\ x – 4.52$

DAFTAR PUSTAKA

Abadi, A. L. 2000. Epidemi dan Strategi Pengendalian Penyakit Tumbuhan. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang. pp.116

Adomako, B. 2007. Causes and Extent of Yield Loss in Cocoa Progenies. Tropical Sci. 47:22-25

Agrios, 1996. Plant Pathology. Third edition. Academic Press. San Diago. pp.713

Akrofia, A.Y., A.A. Appiahb., I.Y. Opokua. 2003. Management of Phytophthora Pod Rot Desease on Cococ Farms in Ghana. J.Crop Protection (22): 469-477.

Alexopoulus, C.J and Mims, C.W. 1970. Introductory mycology. John Willey and Sons. New York. pp. 432

Alexopoulus, C.J. dan C.W. Mims. 1979. Introductory mycology. 3 rd ed. New York, John Wiley dan Sons, 632 p.

Anderson, R.D and Guest D.I. 1990. The control of black pod, canker and seedling blight of cocoa, caused by *Phytophthora palmivora,* with potassium phosphonate. Australian Plant Pathology 19(4):127-129.

Andrews, D.J. dan A.H. Kassam. 1976. The Importance of Muttiple Cropping in Increasing World Food Supplies. In Multiple Cropping. Papendick, P.A., Sanches and Triplett, G.B.(Eds) America Soc. Agron. Spec. Publ. 27: 1 – 10

Anonim. 2004. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao. Panduan Lengkap Budidaya Kakao. Agromedia Pustaka. Jakarta. pp.221

Awuah, R.T., and M. Frimpong. 2002. Cocoa-based media for culturing *Phytophthora palmivora* (Butl.) Butl., causal agent of black pod disease of cocoa. Mycopathologia. Academic Publishers. Netherlands 155:143–147

Baharudin, S. Dewi, dan R. Subaeda. 2004. Kajian Peningkatan Produktifitas Kakao dan Pendapatan Petani di Sulawesi Tenggara. Proc. Simposium Kakao. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Yogyakarta. p. 166-180

Bush, E.A., Stromberg, E. L., Hong, C., Richardson, P.A., and Kong, P. 2006. Illustration of key morphological characteristics of phytohthora species identified in Virginia nursery irrigation water. J. Plant Management network. Published 21 june

Darmono, T.W., I. Jamis, D. A. Santosa. 2006. Pengembangan penanda Molekuler untuk Mendeteksi *P. palmivora* pada Tanaman Kakao. Menara Perkebunan. 74(2) 87-96 pp.

Direktorat Jenderal Bina Produksi Perkebunan Departemen Pertanian. 2006. Arah Kebijaksanaan Pengembangan Komoditas Kakao, Proc. Simposium Kakao. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Yogyakarta. p. 9-15.

Djocgoue, P.F., C. Simo., H.D. Mbouobda., T. Boudjeko., D.J. Nankeu and N.D. Omokolo. 2010. Assessment and Heritability of Productivity and Tolerance Level to *Phytophthoora megakarya* in Ttwo Hybrid of *Theobroma cacao* L. Journal of Plant Pathology. 92 (3): 607-617

Duniway, J.M. 1983. Role of physical factors in the development of Phytophthora Diseases. In Phytophthora its Biology, Taxonomy, Ecology, Phathology. The American Phytopathological Society St. Paul, Minnesota. P 175-187.

Ghozali, I. 2006. Aplikasi analisis multivariate dengan program SPSS. Universitas Diponegoro. Semarang.

Grohmann, C.H. 2006. Resampling SRTM 03". Grass/OSGeo (4):1-6 http://www *grass.osgeo.org/newsletter/GRASS_OSGeo_News.-**srtm.** Akses tgl 20 Mei 2013*

Guritno, B. 2011. Pola Tanam di Lahan Kering. UB Press. Malang. 70h.

Guest, D. 2007. Black Pod. Diverse Pathogens with a Global Impact on Cocoa Yield. Phytopathology 97 : 1650 -1653

Guererro, Y. A., Annia, H.R., Mayra, H. P., Mondher El Jaziri., and Hernandez. L. 2012. Management of Black Pod Rot in Cacao (*Theobroma cacao* L.). Fruit Journal. 67 (1) : 41-48. http://www. Fruits-Journal.org

Holliday, P 1980. Fungus Desease of Tropical Crops. London, Cambridge Univ. Press.

Iwaro, A.D, Sreenivasan TN, & Umaharan P. 1997. *Phytophthora palmivora* resistance in cocoa (*Theobroma cacao*): Influence of pod morphological characteristics. Plant Pathology 46: 557-565.

Iwaro, A.D, Sreenivasan TN, & Umaharan P. 1998. Cocoa resistance to *Phytophthora*: effect of pathogen species, inoculation depths, and pod maturity. European J. Plant Pathol. 104:11-15.

Iwaro, A.D, ,J.M. Thevenin., D.R. Butler., and A.B. Eskes. 2005. Usefulness of The Detached Pod Test for Assessment of Cacao Resistence to Phytophthora Pod Rot. European Journal of Plant Pathology. 113; 173-178.

Maharaj, S.S., P. Umaharan., dan A.D. Iwaro. 2001. A study of genotype-isolate interaction in cacao (*Theobroma cacao* L.): Resistance of cacao genotypes to isolates of *Phytophthora palmivora*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands Euphytica. 118: 295–303

Mahjulan, 2006. Model Epidemi Penyakit Hawar Daun Tanaman Kentang Pada Budidaya Cara Petani Dan Introduksi Di Desa Ranupani Lumajang. Jawa Timur. Disertasi Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang. pp.103

McMahon, P dan A. Purwantara (2004). *Phytophthora* on cocoa. In Drenth A. and D.I. Guest (eds.). Diversity and Managemen of Phytophthora in Southeast Asia. ACIAR Monograph (14). p. 104-115

Medina, L.M. Conteras., I. Torres Pacheco., R. G. Guevara., González., J. Romero Troncoso., I. R. Terol Villalobos and R. Osornio Rios. 2009. Mathematical Modeling Tendencies in Plant Pathology. African Journal (8). pp 7399-7408. http://www.academicjournals.org/AJB

Meliala, C.2009. Pengantar Ilmu Penyakit Tumbuhan. Gadja Mada University Press. Yogyakarta. p. 324

Mitchell, D.J and M.E.1993. *Phytophthora*. Methods for Research on Soilborne Phytopathogenic Fungi. Edited by. Singleton L., Jeanne D. Mihail., Charles M. Rush.

APS Press. The American Phytopathological Society. 31- 36 p.
Morissan. 2012. Metode Penelitian Survei. Kencana. Jakarta. pp. 426
Mudjiono, G. 1987. Fluktuasi Dan Sebaran Populasi Musiman *Helopeltis antoni*i Signoret (Hemiptera: Miridae) Pada Tanaman Cokelat Di Kebun KALtBAKAR CPT PERKEBUNAN XXIII) DAMPIT, MALANG. Disertasi Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor
Nichols, R. 1965. Studies of fruit development of cacao (*Theobroma cacao* L.) in relation to cherelle wilt. Auxins and development of the seeds. Ann. Bot. N. S. 29(114):181—196.
Nirwanto, H. 2007. Ketahanan Populasi Varietas Bawang Merah Terhadap Epidemi Penyakit Bercak Ungu (*Alternaria porri* (Ell.)Cif. Di Daerah Batu Malang. Disertasi Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang.
Nyadanu, D., R. Akromah., B. Adomako., C. Kwoseh., H. Dzahini., S.T. Lowor., A.Y. Akrofi., and M.K. Assuah. 2012. Host Plant Resistance to *Phytophthora* Pod Rot in Cacao (*Theobroma cacao* L.): The Role of Epiculticular Wax on Pod and Leaf Surfaces. International Journal of Botany. 8(1): 13-21
Oka, I.N. 1993. Pengantar Epidemiologi Penyakit Tanaman. Gadja Mada University Press. Yogyakarta. pp.91 .

Parawirosoemardjo, S. dan Purwantara. (1992). Laju Infeksi dan Intensitas Serangan Phytophthora palmivora pada Buah Kakao dan Batang pada Beberapa Varietas Kakao. Menara Perkebunan, 60 (2), 67 – 72.
Parel, C. P., G.C. Cardito., Ferrer, P.L., De Guzman, G.G., Sinsioco, C.S., and Tan, R.H. 1973. Social survey research design. Trial Edition, PSSC Social Survey Serial 1. Quezion City. Philippine
Pedigo, L.P. dan Buntin, G.D. 2003. Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture. CRC Press. London-Tokyo. 714 pp.

Pramono dan S. Wignyosoemarto. 1988. Fungsi Kelapa sebagai Naungan Coklat di Kebun Existing dan PIR Lokal Malang Selatan. Konfrensi Nasional Kelapa II. Surabaya

Pujiyanto, 1998. Penentuan Prioritas Dalam Merehabilitasi Kebun Kakao. J. Warta Pusat penelitian Kopi dan Kakao. 14(3) : 238-244

Purwantara dan Pawisorosoemardjo (1990). Fluktuasi intensitas serangan Phytohthora palmivora pada buah kakao di daerah beriklim basah. Menara perkebunan. 58(2): 44-50

Reijntjes, C., B. Havrekort, dan A. Waters-Bayer. 1991. Farming For The Future, An Introduction to Low-External-Input and Sustainable Agliculture. (Terjemahan. Y. Sukoco. 1999) Kanisius.

Ritterbusch, R dan W. Muhlbauer. 2001. The Importance of Fermentation a Basic Requirement to Meet The Standart Cocoa Quality of European Market. J. Warta Puslit Kopi dan Kakao 17 (1) : 8 – 17

Rivai, F. 2005. Dasar-dasar Epidemiologi Penyakit Tumbuhan. Yayasan Perguruan Tinggi Komputer. UPI Press. Padang. pp.509

Rivai, F. 2006. Kehilangan Hasil Akibat Penyakit Tanaman. Andalas University Press. pp.292

Rivai, F. 2009. Dimensi Waktu dan Ruang Penyakit Tumbuhan. Penerbit Universitas Baiturrahman. Padang. Pp.338

Rubiyo., A. Purwantara., D. Suhendi., Trikoesoemaningtyas., Satriyas Ilyas., dan Sudarsono. 2008. Uji Ketahanan Kakao (*Theobroma cacao* L.) Terhadap Penyakit Busuk Buah dan Efektivitas Metode Inokulasi. Pelita Perkebunan. 24 (2) 95 – 113 pp.

Rubiyo, 2009. Kajian Genetika Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.) Terhadap Penyakit Busuk Buah (*Phytophthora palmivora* Butl) Di Indonesia. Disertasi. Sekolah Pascasarja IPB. Bogor.

Rubiyo., A. Purwantara, dan Sudarsono. 2010. Ketahanan 35 Klon Kakao Terhadap Infeksi Phytophthora palmivora Butl. Berdasarkan Uji Deteched Pod. J. Littiri 16 (4): 172-178 p

Sarwono, J. 2002. Path Analysis. Teori, Aplikasi Prosedur Analisis untuk Riset, Skripsi,Tesis, Disertasi (Menggunakan SPSS). Gramedia. Jakarta. pp.248

Sastrahidayat, I.R. 1996. Pengantar Epidemiologi Penyakit Tanaman. Fakultas Pertanani Unibraw, Malang. pp.83

Sastrahidayat, I.R. 1999. Epidemiologi Teoritis Penyakit Tumbuhan. Lembaga Penerbit Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. pp.106

Sastrahidayat, I.R. 2007. Epidemiologi Kuantitatif. Program Pascasarjan Universitas Brawijaya. Malang. pp.226

Sastrahidayat, I.R. 2012. Epidemiologi Kuantitatif Penyakit Tumbuhan. UB Press. Universitas Brawijaya. Malang. p.196

Semangun, H. 1996. Pengantar Ilmu Penyakit Tumbuhan. Gadja Mada University Press. Yogyakarta. 754p.

Semangun, H. 2000. Penyakit-penyakit Tanaman Perkebunan di Indonesia. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. pp. 835

Silk, J. 1979. Statistical concept in geography. George Allen and Unwin Ltd., London. 253p.

Statistik Perkebunan Indonesia. (2020). *KAKAO* (D. G. dan R. L. Lukmana (ed.)). Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian.

Sudarmadji, D. 1989. Hubungan Timbal Balik Antara *Helopeltis antonii* Sign. (Hemiptera: Miridae) dan Buah Kakao. Disertasi. Institut Pertanian Bogor. 95 h.

Sudjud, S. 2009. Pengaruh Pola Tanam Terhadap Hasil dan Intensitas Kerusakan Hama dan Penyakit Pada Tanaman Kakao. J. Sains dan Teknologi 9 (1): 18-35

Sudjud, S., Mahmud, S. A., & Djafar, C. A. (2019). Exploration of Morphological Diversity of Cacao Plant (Theobroma cacao L.) in Bacan Island. *5th International Conference on Food, Agriculture and Natural Resources (FANRes 2019)* (hal. 89-93). Ternate: Atlantis Press SARL.

Sudjud, S., Sastrahidayat, I. R., Mudjiono, G., & Muhibuddin, A. (2013). The Intensity Distribution of Cacao Pod Rot Disease (Phytophthora palmivora Butl.) in Smallholder Plantation in North Maluku Indonesia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 131-138.

Sugiyono, 2010. Statistik untuk Penelitian. Alfabeta Bandung. pp 389

Suhendi, D. 2005. Klon Kaka Mulia ICCRI 01 dan ICCRI 02. J.Warta Pusat penelitian Kopi dan Kakao 21(1):1-7

Sukamto, S. 1985. *Phytophthora palmivora* Butler, Salah Satu Penyebab Penyakit Pada Tanaman Cokelat. J. Menara Perkebunan 53 (1) : 7 -11

Sukamto, S. 1998. Pengendalian Utama Tanaman Kakao. J. Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao, 14(3) : 271-276

Sukamto, S. 2003. Pengendalian secara hayati penyakit busuk buah kakao dengan jamur antagonis *Trichoderma harzianum*. Seminar Ilmiah dan Kongres Nasional PFI XVI Bandung, 6-8 Agustus 2003.

Suryani, D. dan Zulfebriansyah. 2007. Komoditas kakao: Potret dan Peluang Pembiayaan. Jakarta. Ekonomi Riview No 210. p.1 - 8.

Susilo, A. W., Dedy Suhendi, dan Sri Sukamto. 2002. Ragam Genetik Kerentanan Tanaman Kakao Terhadap *Phytophthora palmivora* (Butl.) Pelita Perkebunan. 18 (1) 1 – 9 pp.

Susilo, A.W. 2006. Kemampuan Menyerbuk Sendiri Beberapa Klon Kakao (*Theobroma cacao* L.) Pelita Perkebunan 22(3) : 159-167

Sutarman., S. Hadi., A. Saefuddin., Achmad., dan A. Suryani. 2004. Epidemiologi Hawar Daun Bibit *Pinus merkussi* yang Disebabkan oleh *Pestatolia theae*. Jurnal Manajemen Hutan Tropika. 10 (1): 43-60

Swarinoto, Y.S. dan Sugiyono. 2011. Pemanfaatan suhu udara dan kelembaban udara dalam persamaan regresi untuk simulasi prediksi total hujan bulanan di Bandar Lampung. Jurnal Meteorologi dan Geofisika 12 (3):269-279

Tarjot, M. 1974. Physiology of the fungus. In Gregory P.H. (Ed) Phytophthora disease 0f cocoa. Logman, London. pp.103-116

Tarumingkeng, R.C. 1994. Dinamika populasi “kajian Ekologi Kuantitatif”. Pustaka sinar Harapan dan Universitas Kristen Krida Wacana. Jakarta. pp.284

Thahir, M.S. dan Hadmidi. 1985. Tumpang Gilir (*Multiple Cropping*). Jasaguna. Jakarta. pp.124

Tjiptanto, G. 2011. Simulasi penakar hujan sederhana. http//www. images.iklim.multiplycontent.com akses tanggal 16 nopemeb

Umayah, A. 2004. Analisis Keragaman Genetik *Phytopthora palmivora* Penyebab Busuk Buah Kakao Di Indonesia. Sekolah Pascasarja IPB.Disertasi. Tidak Dipublikasi.

Umayah, A dan Purwantara, A. 2006. Identifikasi Isolat *Phytopthora* asal Kakao. Menara Perkebunan. 74 (2), 75 – 85. Jakarta.

Unterstenhofer, G. 1976. The Basic Principles of Crop Protection Field Trial. Pfazenschutz Nachricten Bayer 29(2):161-168

Untung, K. 1979. Teori Ambang Ekonomi Hama dan Penerapannya. Yayasan Pembina Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta.

Untung, K. 2006. Pengantar Pengelolaan Hama Terpadu. Gadja Mada University Press. Yogyakarta. pp. 348

Van der Palnk, J.L. 1963. Plant Disease; Epidemic and Control. Academic Press. New York and London. pp. 349 .

Van Hall, C.J.J. 1949. Cacao. (Terjemahan. Semangun, H. dan Lahiya A. A. 1986) LPP Yogyakarta. pp.137

Wachar, A. 2005. Kajian Tanggap Fisiologis Perkembangan Buah Muda dan Layu pentil Terhadap Pemberian Unsur Zeng (ZN) dan Boron (B) Serta Pengaruhnya Terhadap Hasil Kakao (*Theobroma cacao* L.). Disertasi Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Waterhause, G.M. 1963. Key to the species of *Phytophthora* de Bary. Myclogical Papers No.92. Commononwealth Mycological Institute, In: Kew, Surrey, England.

Waterhause, G.M. 1974. *Phytopthora palmivora* and Some Related Species. In P.H. Gregory (ed). Phytophthora Disease of Cocoa. London. 51-70.

Wood GAR. 1985. Establisment. *In* G.A.R. Wood & R.A. Lass (Eds.) Cocoa:

119-165. Longman, London.

Yunus, H.S. 2010. Metodologi penelitian wilayah kontemporer. Pustaka pelajar. Yogjakarta.450p.

Zadoks, J.C dan R.D. Schein. 1979. Epidemiology and Plant Disease Management. Oxford University Press. Newyork. pp.427

Profil Penulis

Dr. Suratman Sudjud, SP., MP.

Penulis lahir di Ternate 5 Januari 1976 anak dari Ayah Hasan Sudjud (Almarhum) dan Ibu Hj. Samira Ajudin. Menyelesaikan pendidikan SD hingga SMP di Ternate lulus tahun 1991. SMA Negeri 1 Ambon lulus tahun 1994. Studi program sarjana pada fakultas pertanian program studi hama dan penyakit Universitas Pattimura Ambon 1994 dan pada tahun 1999 pindah di Universitas Haluoleo Kendari pada program studi yang sama dan lulus pada tahun 2000. Menyelesaikan Program Magister (S2) tahun 2007 dan Doktor (S3) tahun 2013 di Universitas Brawijaya Malang.

Pada tahun 2002 diangkat sebagai staf pengajar pada Fakultas Pertanian Universitas Khairun Ternate. Pengalaman kerja baik di kampus diawali sebagai sekretaris jurnal *Cannarium* Fakultas Pertanian Unkhair Ternate (2003-2004), Ketua program studi Agronomi Fakultas Pertanian (2004-2005), Pembantu Dekan Bidang Akademik (2008-2010), Ketua Pusat Penjaminan Mutu Universitas Khairun (2013-2018), Direkur Program Pascasarjana (2017-2018), Wakil Rektor Bidang Akademik (2018-2022), dan Ketua Lembaga Pengembangan Pendidikan dan Penjaminan Mutu (LP3M) Universitas Khairun (2022-2026). Aktif pada beberapa pusat kajian di Universitas Khairun dan Ketua Pusat Studi Pemberdayaan Masyarakat dan Sumberdaya Alam, serta organisasi profesi Phytopatologi Indonesia Wilayah Maluku Utara. Aktif sebagai pekerja sosial pada Lembaga Mitra Lingkungan (LML) Maluku Utara sejak tahun 2000 dan saat ini sebagai Direktur LML Maluku Utara (2013-sekarang). Aktif pada kegiatan penelitian, pelatihan, seminar, dan lokakarya baik lokal, regional, nasional maupun internasional.