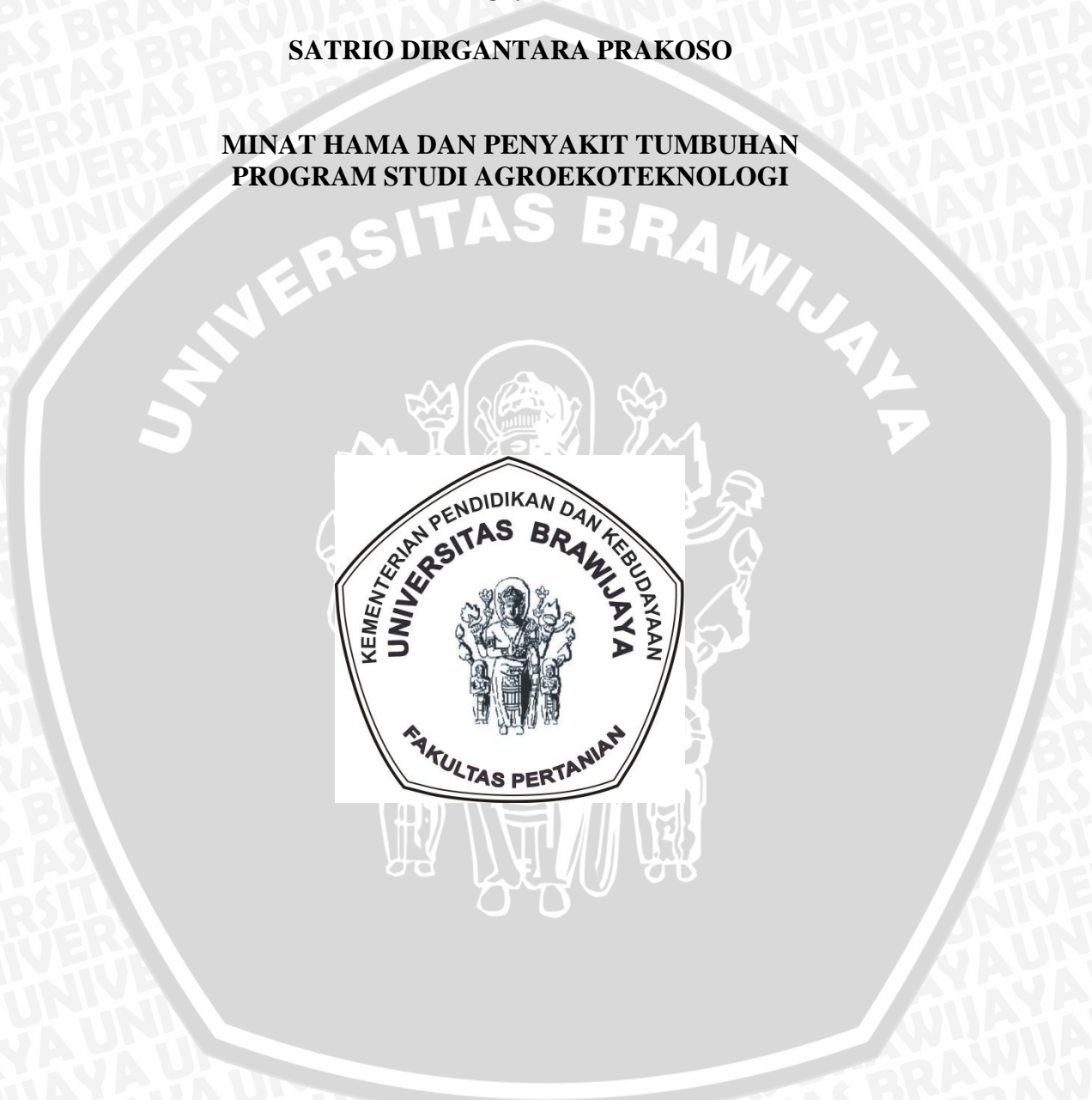


**PENGARUH ANGIN TERHADAP PENYEBARAN SPORA
Phakopsora pachyrhizi SYDOW SECARA HORIZONTAL**

Oleh

SATRIO DIRGANTARA PRAKOSO

**MINAT HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
JURUSAN HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN
MALANG
2015**



**PENGARUH ANGIN TERHADAP PENYEBARAN SPORA
Phakopsora pachyrhizi SYDOW SECARA HORIZONTAL**

Oleh:
SATRIO DIRGANTARA PRAKOSO
105040200111058

**MINAT HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

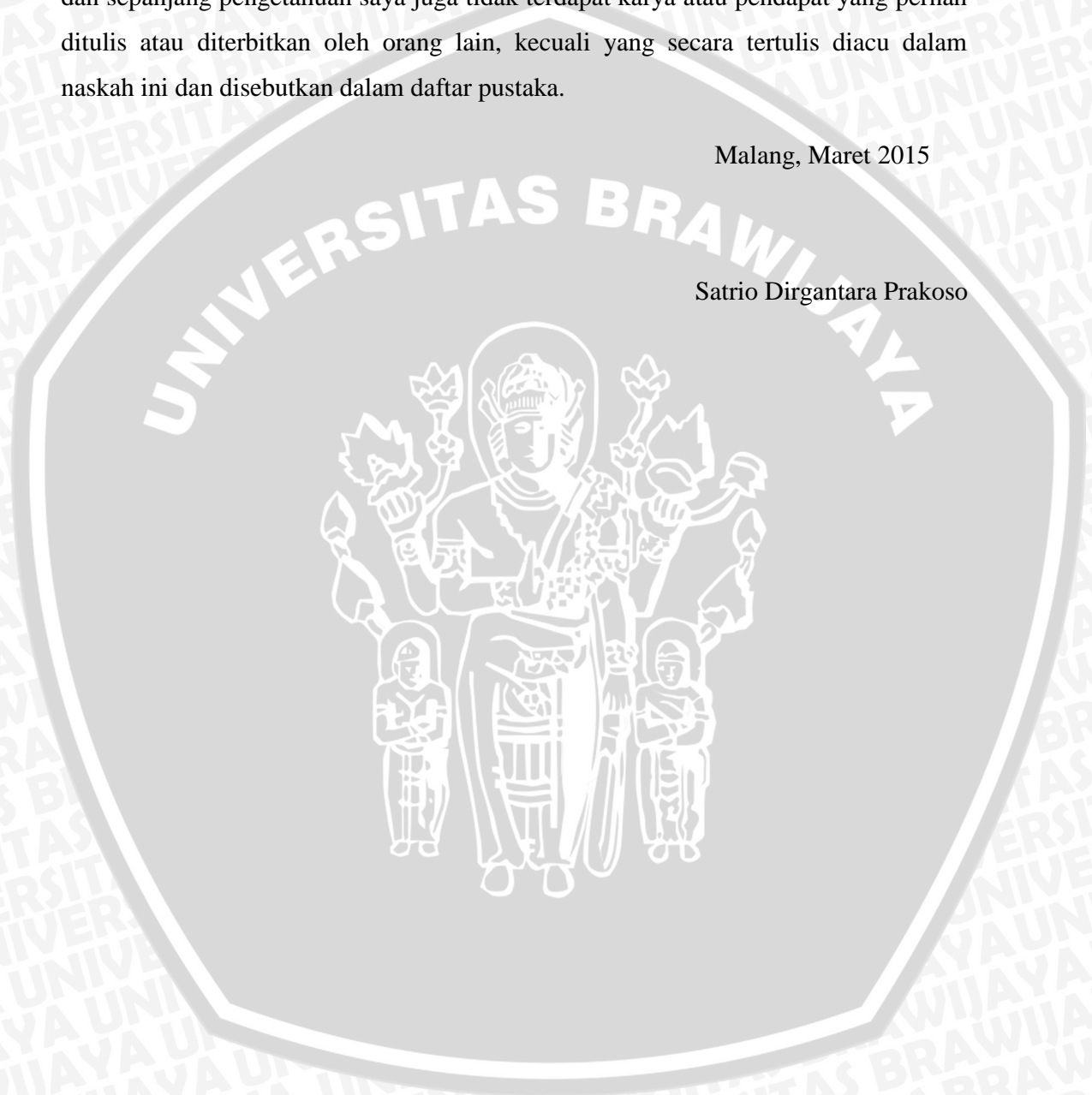
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
JURUSAN HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN
MALANG
2015**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Maret 2015

Satrio Dirgantara Prakoso



LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Pengaruh Angin Terhadap Penyebaran Spora *Phakopsora pachyrhizi* Sydow Secara Horisontal
Nama Mahasiswa : Satrio Dirgantara Prakoso
Nim : 105040200111058
Program Studi : Agroekoteknologi
Minat : Hama Dan Penyakit Tumbuhan

Disetujui oleh:

Pembimbing Pertama

Pembimbing Kedua

Prof. Dr. Ir. Ika Rochdjatun Sastrahidayat
NIP. 19480109 197603 1 001

Dr. Anton Muhibuddin SP, MP.
NIP. 1977113 0200501 1 002

Mengetahui
Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan
Ketua

Dr. Ir. Bambang Tri Rahardjo, SU.
NIP. 19550403 198303 1 003

MENGESAHKAN
MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Dr. Ir. Bambang Tri Rahardjo, SU.
NIP. 19550403 198303 1 003

Restu Rizkyta Kusuma, SP., M.Sc.
NIK. 880504 04 32 0021

Penguji III

Penguji IV

Prof. Dr. Ir. Ika Rochdjatun Sastrahidayat
NIP. 19480109 197603 1 001

Dr. Anton Muhibuddin SP, MP.
NIP. 19771130 200501 1 002

Tanggal lulus:

RINGKASAN

SATRIO DIRGANTARA PRAKOSO. 105040200111058. PENGARUH ANGIN TERHADAP PENYEBARAN SPORA *Phakopsora pachyrhizi* SYDOW SECARA HORIZONTAL dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Ika Rochdjatun Sastrahidayat sebagai pembimbing utama dan Dr. Anton Muhibuddin SP. MP, sebagai pembimbing kedua.

Permasalahan peningkatan produksi kedelai mendapatkan hambatan salah satunya akibat serangan penyakit karat yang disebabkan *Phakopsora pachyrhizi* Sydow. Penyakit karat telah tersebar luas di sentra produksi kedelai di dunia. Di Indonesia, penyakit karat terdapat di sentra produksi kedelai seperti Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara Barat, Kalimantan, dan Sulawesi. Kehilangan hasil di Indonesia akibat serangan ini dilaporkan dapat mencapai 40-90%, di Thailand 10-40%, dan 23-50% di Taiwan. Berkaitan dengan permasalahan tersebut maka salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan mengetahui penyebaran penyakit ini yang disebarkan melalui bantuan angin. Penelitian bertujuan untuk mengetahui bagaimana penyebaran penyakit karat daun *P. pachyrhizi* dan intensitas serangannya dari berbagai jarak sumber inokulum.

Penelitian dilaksanakan dengan dua macam percobaan. Percobaan pertama untuk mengetahui jumlah spora yang tertangkap pada perangkap spora dengan mengatur jarak perangkap spora 20, 40, 60, 80, dan 100 cm dari sumber inokulum. Percobaan kedua untuk mengetahui intensitas penyakit karat daun dengan aplikasi hembusan angin, agar spora dari sumber inokulum bisa menyebar. Percobaan dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap yang terdiri atas perlakuan jarak tanam 20, 40, 60, 80, dan 100 cm dari sumber inokulum pada terowongan angin, dan diulang sebanyak tiga kali.

Hasil penelitian menunjukkan, dari percobaan perangkap spora didapatkan hasil bahwa pada jarak 20 cm dari sumber inokulum mempunyai jumlah spora yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan jarak yang lain. Hubungan jumlah spora tertangkap dengan jarak dari sumber inokulum memiliki hubungan negatif, semakin jauh perangkap spora diletakkan dari sumber inokulum maka jumlah spora yang tertangkap semakin kecil sehingga didapatkan persamaan pola logaritmik $y = -22,44\ln(x) + 105,99$. Sedangkan pada percobaan kedua intensitas serangan karat daun tertinggi yaitu pada tanaman dengan jarak 20 cm dari sumber inokulum dibanding dengan perlakuan jarak lainnya. Hubungan jarak dari sumber inokulum dengan tingkat intensitas karat daun memiliki hubungan negatif, jarak tanaman lebih jauh dari sumber inokulum maka intensitas serangan semakin rendah sehingga didapatkan persamaan pola logaritmik $y = -2,909\ln(x) + 40,033$.

SUMMARY

SATRIO DIRGANTARA PRAKOSO. 105040200111058. Effect of wind on spore dispersal *Phakopsora pachyrhizi* Sydow horizontally, supervised by Prof. Dr Ir. Ika Rochdjatun Sastrahidayat, and Dr. Anton Muhibuddin SP. MP.

Problems about the increasing of soybean production gets obstacles. One of them are rust disease caused by *Phakopsora pachyrhizi* Sydow. Rust disease has spread widely in soybean production centers in the world. In Indonesia, there are rust diseases in soybean production centers as Sumatra, Java, Bali, Lombok, Kalimantan, and Sulawesi. Loss results in Indonesia as a result of this attack has been reported to reach 40-90%, 10-40% in Thailand and 23-50% in Taiwan. In connection with the problem then one of the efforts is to determine the spread of this disease which is spread by the wind. This study aims to determine the spread of leaf rust disease *P. pachyrhizi* and intensity of disease by distance inoculum source.

This study were conducted with two kinds of experiments. the first experiment was conducted to determine the number of spores that were stranded on spore traps by adjusting the spore trap 20, 40, 60, 80, and 100 cm from the source of inoculum. The second experiment was conducted to determine the intensity of leaf rust disease by application of wind, so that the spores can be spread from a source of inoculum. Research was carried out by using a completely randomized design consisting of treatment spacing of 20, 40, 60, 80, and 100 cm from the source of inoculum or diseased plants in the wind tunnel, and repeated three times.

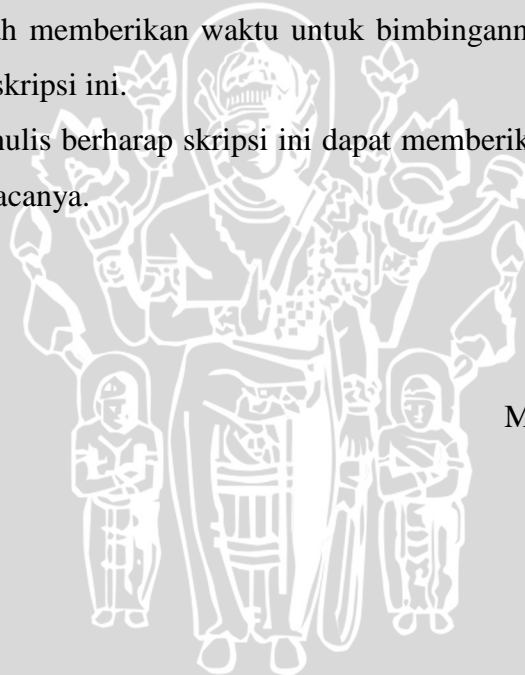
The first experiment shows that spore trapping at a distance of 20 cm from inoculum source is the highest number of spores when compared to the other spore trap distance. The number of spores trapping with the source of inoculum distance has a negative relationship, with the pattern of logarithmic equation $y = -22,44 \ln(x) + 105.99$. While in the second experiment, the highest intensity of leaf rust disease is at a distance of 20 cm from the inoculum source compared with other distance treatment. Distance from the source of inoculum relationship with leaves rust intensity level has negative correlation, when the distance of the plant farther than inoculum source, so the intensity is lower, with the equation logarithmic pattern $y = -2,909 \ln(x) + 40.033$

KATA PENGANTAR

Permasalahan peningkatan produksi kedelai mendapatkan hambatan akibat serangan penyakit karat yang disebabkan *Phakopsora pachyrhizi* Syd. Informasi tentang fisiologi dan penyebaran penyakit tersebut dibutuhkan, maka dari itu untuk menambah informasi dan memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Pertanian, penulis menyelesaikan skripsi dengan judul Pengaruh Angin Terhadap Penyebaran Spora *Phakopsora pachyrhizi* Sydow Secara Horisontal.

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Ika Rochdjatun Sastrahidayat dan Dr. Anton Muhibuddin SP, MP. selaku pembimbing yang telah memberikan waktu untuk bimbingannya kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi pembacanya.



Malang, Maret 2015

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 4 Juli 1992 di Gresik, Jawa Timur. Penulis merupakan putra dari dua bersaudara pasangan Bapak Narukat dan Ibu Sahadatun Nur Haroni. Pendidikan formal yang ditempuh oleh penulis yakni TK Semen Gresik (1996-1998), SD Semen Gresik (1998-2004), SMP Negeri 3 Gresik (2004-2007), SMA Semen Gresik (2007-2010). Pada tahun 2010, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata Satu (S1) Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang melalui jalur SNMPTN.

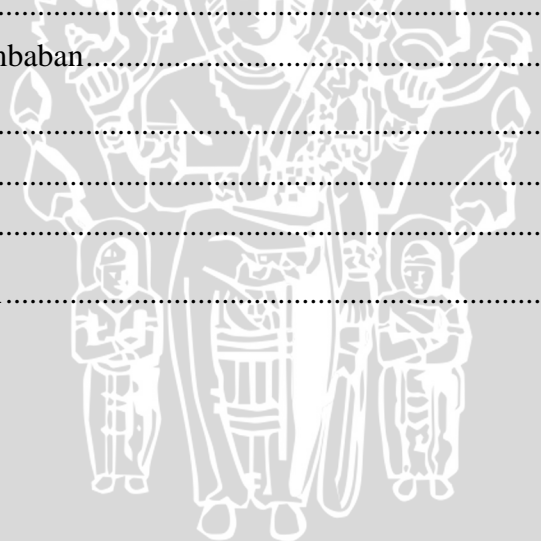
Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis pernah aktif dalam organisasi jurusan, yaitu HiMAPTA (Himpunan Mahasiswa Perlindungan Tanaman) sebagai ketua Departemen ADKES (Administrasi dan Kesekretariatan) selama periode kepengurusan 2013-2014. Penulis juga pernah aktif dalam kepanitiaan HiMAPTA. Ditahun yang sama, penulis dipercaya sebagai koordinator lapang pada kegiatan PROTEKSI (Pendidikan Dasar dan Orientasi Terpadu Keprofesian) 2013, dan ARTHROPODA (*Anniversary of Himapta Djaya*) 2013 sebagai SC (*steering committee*). Penulis juga pernah terpilih sebagai kontingen dari Fakultas Pertanian dalam Olimpiade Brawijaya tahun 2010 pada cabang olahraga futsal. Selain itu penulis melakukan kegiatan magang kerja selama tiga bulan (1 Juli-30 September 2013) di PT. Perkebunan Nusantara X (Persero).

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| RINGKASAN | i |
| SUMMARY | ii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| RIWAYAT HIDUP | iv |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR TABEL | vii |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Tujuan | 2 |
| 1.3. Hipotesis | 2 |
| 1.4. Manfaat | 2 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 3 |
| 2.1. Tanaman kedelai | 3 |
| 2.2. Penyakit karat daun | 3 |
| 2.2.1. Tanaman inang | 4 |
| 2.2.2. Gejala penyakit karat daun | 5 |
| 2.2.3. Mekanisme infeksi penyakit karat daun | 5 |
| 2.3. Faktor- faktor yang mempengaruhi perkembangan penyakit | 7 |
| 2.4. Pengaruh lingkungan terhadap epidemi penyakit tumbuhan | 8 |
| 2.5. Migrasi dan penyebaran penyakit tumbuhan | 8 |
| 2.5.1. Penyebaran patogen secara langsung | 9 |
| 2.5.2. Penyebaran patogen secara tidak langsung | 9 |
| 2.6. Konsep Aerobiological | 10 |
| 2.6.1. Produksi spora | 11 |
| 2.6.2. Pelepasan spora | 11 |
| 2.6.3. Transportasi horisontal | 12 |
| 2.6.4. Pendaratan spora | 13 |
| 2.7. Penyebaran karat daun <i>P.pachyrhizi</i> | 16 |
| III. BAHAN DAN METODE | 18 |
| 3.1. Tempat dan waktu | 18 |
| 3.2. Alat dan bahan | 18 |
| 3.3. Persiapan penelitian | 18 |



| | |
|---|-----------|
| 3.4. Rancangan percobaan I | 19 |
| 3.5. Rancangan percobaan II | 20 |
| 3.6. Pengamatan | 22 |
| 3.6.1. Identifikasi jamur <i>P. pachyrhizi</i> | 22 |
| 3.6.2. Menghitung kecepatan angin | 22 |
| 3.6.3. Menghitung spora yang tertangkap..... | 22 |
| 3.6.4. Intensitas penyakit | 22 |
| 3.6.5. Laju infeksi penyakit | 23 |
| 3.6.6. Cuaca | 23 |
| 3.7. Analisa data | 24 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | 25 |
| 4.1. Identifikasi jamur patogen <i>P. pachyrhizi</i> | 25 |
| 4.2. Jumlah spora tertangkap pada berbagai jarak inokulum | 27 |
| 4.3. Intensitas serangan karat daun dengan berbagai jarak inokulum | 30 |
| 4.4. Hubungan jumlah spora tertangkap dengan intensitas serangan karat daun | 34 |
| 4.5. Suhu dan kelembaban..... | 35 |
| V. PENUTUP | 37 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 37 |
| 5.2 Saran..... | 37 |
| DAFTAR PUSTAKA | 38 |



DAFTAR TABEL

| Nomor | Teks | Halaman |
|--------------|--|----------------|
| 3.1. | Perlakuan perangkap spora..... | 19 |
| 3.2. | Perlakuan terowongan angin | 21 |
| 3.3. | Skala infeksi penyakit karat pada kedelai | 23 |
| 4.1. | Karakteristik urediospora karat daun pada kedelai | 26 |
| 4.2. | Rerata jumlah spora yang tertangkap pada perangkap spora | 28 |
| 4.3. | Rerata intensitas penyakit karat daun (%) pada tanaman kedelai | 30 |
| 4.4. | Laju infeksi penyakit karat daun pada jarak dari sumber inokulum .. | 34 |
| 4.5. | Pengamatan suhu | 36 |
| 4.6. | Pengamatan kelembaban | 36 |

LAMPIRAN

| Nomor | Teks | Halaman |
|--------------|--|----------------|
| 1. | Hasil sidik ragam intensitas penyakit pada 9 hsi. | 42 |
| 2. | Hasil sidik ragam intensitas penyakit pada 12 hsi. | 42 |
| 3. | Hasil sidik ragam intensitas penyakit pada 15 hsi. | 42 |
| 4. | Hasil sidik ragam intensitas penyakit pada 18 hsi. | 42 |
| 5. | Hasil sidik ragam intensitas penyakit pada 21 hsi. | 42 |
| 6. | Hasil sidik ragam jumlah spora tertangkap perangkap spora..... | 42 |
| 7. | Data intensitas penyakit sebelum dirubah kedalam bentuk logaritma..... | 45 |
| 8. | Hasil data intensitas penyakit setelah menjadi bentuk logaritma..... | 45 |
| 9. | Hasil Perhitungan laju infeksi menggunakan excel..... | 46 |



DAFTAR GAMBAR

| Nomor | Teks | Halaman |
|--------------|---|----------------|
| 2.1. | Urediospora <i>P. pachyrhizi</i> menggunakan mikroskop scanning electron..... | 4 |
| 2.2. | Gejala karat daun <i>P. Pachyrhizi</i> | 5 |
| 2.3. | Infeksi <i>P. pachyrhizi</i> pada tanaman | 6 |
| 2.4. | Penyebaran <i>P. pachyrhizi</i> pada tanaman melalui udara..... | 16 |
| 2.5. | Pengendapan kering dan basah <i>P. pachyrhizi</i> pada tanaman kedelai. | 17 |
| 3.1. | Ilustrasi percobaan I | 20 |
| 3.2. | Perangkap spora | 20 |
| 3.3. | Denah percobaan | 21 |
| 3.4. | Ilustrasi perlakuan terowongan angin | 22 |
| 4.1. | Hasil pengamatan mikroskopis urediospora <i>P. pachyrhizi</i> | 25 |
| 4.2. | Gejala penyakit karat daun..... | 27 |
| 4.3. | Penampilan kerapatan spora yang tertangkap pada perangkap spora | 29 |
| 4.4. | Grafik hubungan rerata jumlah spora yang tertangkap pada perangkap spora dengan jarak dari sumber inokulum..... | 29 |
| 4.5. | Grafik hubungan intensitas penyakit karat daun terhadap jarak perlakuan | 32 |
| 4.6. | Perkembangan penyakit karat daun kedelai pada masing-masing perlakuan jarak dari sumber inokulum | 33 |
| 4.7. | Hubungan jumlah spora dengan intensitas karat | 35 |

LAMPIRAN

| Nomor | Teks | Halaman |
|--------------|------------------------------------|----------------|
| 2. | Gambar dokumentasi penelitian..... | 43 |



I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dari berbagai jenis kacang-kacangan, kedelai adalah sumber protein yang banyak dipilih dikarenakan kandungan proteinnya yang tinggi dan untuk mengekstraknya cukup mudah. Kedelai telah dipelajari secara intensif dan proses yang telah dikembangkan untuk memperoleh dan memodifikasi proteinnya untuk penggunaan pada makanan (Potter, 1986).

Permasalahan peningkatan produksi kedelai mendapatkan hambatan salah satunya akibat serangan penyakit karat yang disebabkan *Phakopsora pachyrhizi* Syd. Penyakit karat telah tersebar luas di sentra produksi kedelai di dunia. Di Indonesia, penyakit karat terdapat di sentra produksi kedelai di Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara Barat, Kalimantan, dan Sulawesi (Semangun 1991). Kehilangan hasil akibat serangan ini dilaporkan dapat mencapai 40-90% di Indonesia (Sudjono *et al.*, 1985), 10-40% di Thailand dan 23-50% di Taiwan (Sinclair dan Shurtleff, 1980).

P. pachyrhizi sangat mudah terbawa angin dan percikan air hujan sehingga cepat tersebar dan siklus hidupnya akan berlangsung berkali-kali dari musim ke musim. Penyakit ini pertama kali dilaporkan di Jepang pada tahun 1902, Afrika akhir 1990 dan awal tahun 2000, Paraguay pada tahun 2001, Brasil pada tahun 2002, dan Argentina pada tahun 2003 (Rossi, 2003). Transportasi spora di udara dari patogen jamur adalah proses penting untuk penyakit bisa menyebar. Namun informasi tentang proses bagaimana spora bisa menyebar di udara dengan jarak ratusan kilometer dan mampu menginfeksi tanaman pada area yang berbeda masih kurang (Aylor, 1986). Penyebaran karat daun pada kedelai membutuhkan angin untuk bisa menyebar sehingga menginfeksi ke tanaman lainnya. Pemahaman proses-proses yang mempengaruhi transportasi spora bisa membantu petani dalam manajemen pengambilan keputusan tentang penggunaan fungisida, sanitasi lokal, dan karantina. Oleh karena itu perlu diketahui tentang penyebaran karat daun terkait dengan pengaruh jarak dari sumber inokulum dan intensitas serangan karat daun pada tanaman kedelai.

1.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penyebaran penyakit karat daun *P. pachyrhizi* dan intensitas serangannya dari berbagai jarak sumber inokulum.

1.3. Hipotesis

Semakin dekat jarak dari sumber inokulum maka jumlah spora tertangkap dan intensitas serangan karat daun semakin tinggi.

1.4. Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan menjadi tambahan informasi tentang penyebaran spora *P. pachyrhizi* dan intensitas serangan karat daun pada kedelai terhadap sumber inokulum.



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman kedelai

Klasifikasi tanaman kedelai termasuk dalam divisi Spermatophyta, sub divisi Angiospermae, kelas Dicotyledoneae, bangsa Polypetales, keluarga Leguminosae, marga *Glycine*, jenis *Glycine max* (L.) Merill. (Fachrudin, 2000). Kedelai sebagai tanaman legum memiliki areal kesesuaian lingkungan dalam hal lintang, ketinggian tempat, suhu, panjang hari, dan kelembaban. Panjang hari dan intensitas penyinaran (radiasi) surya penting untuk diperhatikan dalam budidaya tanaman kedelai. Faktor iklim terutama radiasi surya perlu diperhatikan (Baharsjah, 1992).

Tanaman kedelai sebagian besar tumbuh di daerah yang beriklim tropis dan subtropis. Tanaman kedelai dapat tumbuh baik di daerah yang memiliki curah hujan sekitar 100-400 mm/bulan. Untuk mendapatkan hasil optimal, tanaman kedelai membutuhkan curah hujan antara 100-200 mm/ bulan (Prihatman, 2000). Kisaran suhu untuk pertumbuhan kedelai adalah 10-35°C, diatas suhu 35°C tanaman dapat tumbuh namun kurang baik, dan diatas suhu 40°C produksinya hampir tidak ada. Suhu yang kurang sesuai terhadap tanaman kedelai dapat mengakibatkan berkurangnya inisiasi bunga dan pembentukan polong (Baharsjah, 1992). Kondisi iklim yang cocok untuk penanaman kedelai di Indonesia umumnya adalah daerah dengan suhu antara 25-27°C (Rukmana dan Yuniarsih, 1996). Meskipun tanaman tumbuh dengan baik pada temperatur 10-35°C, namun suhu optimum untuk pertumbuhan dan perkembangan pada umumnya sekitar 30°C (Giller dan Dashiell, 2010).

2.2. Penyakit karat daun

Penyakit karat daun pada kedelai disebabkan oleh cendawan *Phakopsora pachyrhizi*. Cendawan ini memiliki klasifikasi sebagai berikut, divisi Basidiomycota, kelas uredinimycetes, bangsa uredinales, suku melamporaceae, marga *Phakopsora*, Jenis *Phakopsora pachyrhizi* Sydow. (Alexopolus, 1996). Pada tahun 1906 Sydow dan Buttler di India berhasil menemukan teliospora jamur karat ini dan diberi nama *Phakopsora pachyrhizi* Syd. (Yang, 1977 dalam Hardaningsih, 1986). Hasil pengamatan kehilangan hasil kedelai akibat serangan

jamur karat di Indonesia sejak tahun 1970 memberi gambaran bahwa serangan patogen ini cukup berarti. Pada percobaan daya hasil yang dilaksanakan di Bogor dan Kuningan pada musim penghujan 1974 tidak diperoleh hasil biji sama sekali karena tanaman kedelai terserang jamur karat, memperkirakan kehilangan hasil rata-rata sebesar 20% disebabkan oleh jamur karat terutama karena pengurangan ukuran biji (Sumarno dan Subjadi, 1977 dalam Hardaningsih, 1986). Spora cendawan dibentuk dalam uredium dengan diameter 25–50 μm sampai 5–14 μm . Urediospora berbentuk bulat telur, berwarna kuning keemasan sampai coklat muda dengan diameter 18–34 μm sampai 15–24 μm (Gambar 2.1). Permukaan uredospora bergerigi. Urediospora akan berkembang menjadi teliospora yang dibentuk dalam telia. Telia berbentuk bulat panjang dan berisi 2–7 teliospora. Teliospora berwarna coklat tua, berukuran 15–26 μm sampai 6–12 μm . Stadium teliospora jarang ditemukan di lapangan dan tidak berperan sebagai inokulum awal. Di Amerika Latin, penyakit karat disebabkan oleh dua spesies, yaitu *P. pachyrhizi* yang sangat virulen dan *P. meibomiae* yang kurang virulen (Sumartini, 2010).



Gambar 2.1. Urediospora *P. pachyrhizi* menggunakan mikroskop scanning electron (Lee *et al.*, 2007)

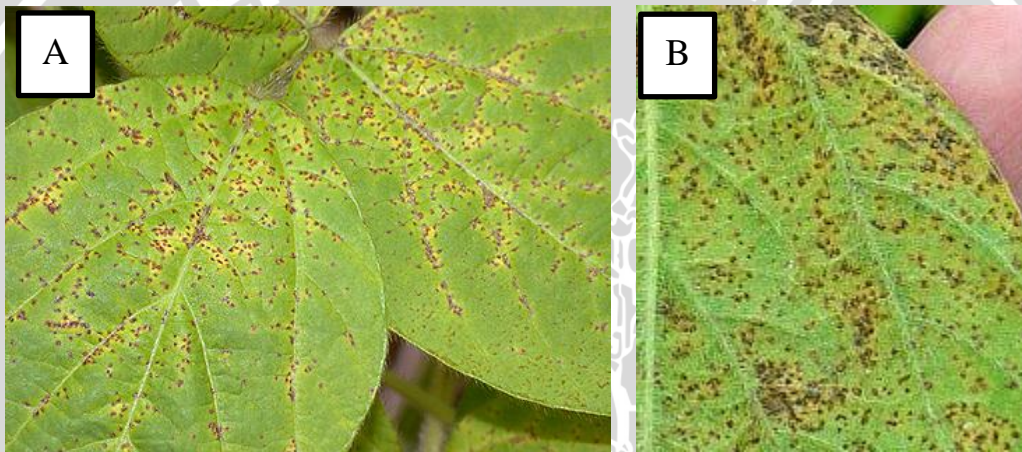
2.2.1. Tanaman inang

P. pachyrhizi merupakan parasit obligat maka apabila di lapangan tidak terdapat tanaman kedelai, spora hidup pada tanaman inang lain. Sudjono (1979) menyatakan bahwa dari 17 jenis tanaman kacang-kacangan selain kedelai yang diinokulasi secara buatan, tiga di antaranya menunjukkan gejala yang bersporulasi, yaitu kacang asu (*Calopogonium mucunoides*), kacang kratok (*Phaseolus lunatus*), dan kacang panjang (*Vigna unguiculata*). Spora hanya

bertahan 2 jam pada tanaman bukan inang. Spora tidak dapat bertahan pada kondisi kering, jaringan mati atau tanah. Jika tidak ada tanaman kedelai, gulma yang termasuk ke dalam famili Leguminosae dapat menjadi tanaman inang alternatif.

2.2.2. Gejala penyakit karat daun

Gejala umum penyakit ini terjadi pada saat setelah tanaman berbunga. Bintik-bintik coklat lebih banyak nampak di permukaan daun bagian bawah (Gambar 2.2). Apabila daun disentuh sporanya menyerupai tepung berwarna coklat bertaburan. Penyakit ini dapat mengurangi fotosintesa sehingga pada serangan berat banyak polong yang tidak terisi penuh (Suprpto, 1990).



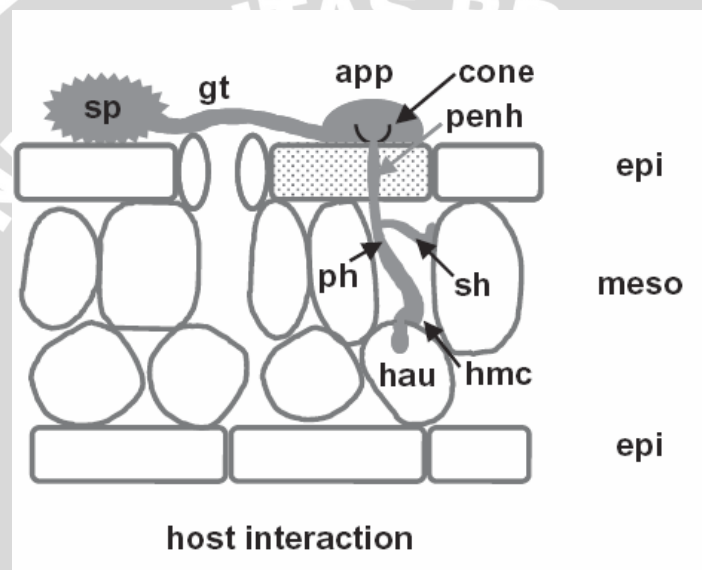
Gambar 2.2. Gejala karat daun *P. pachyrhizi* (a) gejala karat daun pada bagian permukaan daun kedelai, (b) gejala karat daun pada bagian bawah permukaan daun kedelai (Rupe, J. dan L. Sconyers., 2008)

Gejala penyakit karat tampak pada daun, tangkai daun dan kadang-kadang pada batang yang semula terbentuk bercak-bercak dan kemudian berkembang menjadi bisul yang berwarna seperti karat. Pada umumnya serangan terjadi pada permukaan bawah daun dan serangan awal biasanya terjadi pada daun-daun bawah yang kemudian berkembang ke daun yang lebih atas (Sumantri dan Yusmani, 2001).

2.2.3. Mekanisme infeksi penyakit karat daun

Urediospora *P. pachyrhizi* sangat mudah terbawa angin dan percikan air hujan sehingga cepat tersebar dan siklus akan berkali-kali terjadi dari musim ke musim. Infeksi dimulai dengan menempelnya urediospora pada permukaan daun (Gambar 2.3). Proses infeksi dimulai dengan perkecambahan urediospora

membentuk tabung kecabah tunggal yang menembus permukaan daun 5–400 μm melalui bagian tengah sel epidermis, sampai terbentuk apresorium (hifa infeksi). Berbeda dengan cendawan karat yang lain, pada cendawan ini penetrasi apresorium ke sel-sel epidermis daun langsung melalui kutikula, jarang melalui stomata. Jika melalui stomata, umumnya apresorium masuk melalui sel penjaga, bukan melalui sel pembuka. Proses penetrasi pada cendawan ini bersifat unik yaitu cendawan mampu melakukan penetrasi secara langsung. Proses penetrasi tersebut memudahkan *P. pachyrhizi* mendapatkan inang yang luas (Monte *et al.*, 2003).



Gambar 2.3. Infeksi *P. pachyrhizi* pada tanaman. Urediospora berkecambah (sp), tabung perkecambahan tunggal (gt), apresorium (app) kerucut appressorial (cone), hifa penetrasi (penh), sel epidemal (epi). hifa primer (ph), hifa sekunder (sh), haustorial (hmc), sel mesofil (meso), haustorium pertama (hau) (Koch *et al.*, 1983; Goellner *et al.*, 2010)

Proses infeksi diawali dengan perkecambahan urediospora dan menghasilkan tabung perkecambahan dengan membentuk apresorium pada akhirnya. Setelah itu membentuk struktur seperti corong atau biasa disebut kerucut appressorial. Dari dalam apresorium kemudian berkembang menjadi hifa penetrasi, melintasi sel epidemal. Sel-sel mati ditembus sebuah hifa primer kemudian membentuk cabang-cabang menjadi beberapa hifa sekunder di jaringan mesofil. Kemudian sel utama haustoria terbentuk dari patogen menyerang sel mesofil dan membentuk haustorium pertama. Uredium akan berkembang 5–8 hari

setelah proses infeksi. Urediospora baru terbentuk 9 hari setelah infeksi, dan pembentukan dapat berlanjut sampai 3 minggu, sedangkan uredium berkembang sampai 4 minggu. Uredium generasi kedua akan tumbuh pada bagian pinggir dari tempat infeksi pertama, dan hal ini dapat berlangsung terus-menerus sampai 8 minggu (Monte *et al.*, 2003). Tanda dan gejala suatu penyakit timbul sebagai akibat perubahan fungsi yang terjadi pada jaringan (Muhibuddin, 2011).

2.3. Faktor- faktor yang mempengaruhi perkembangan penyakit

Beberapa faktor seperti suhu, kelembaban, dan cahaya sangat memengaruhi perkembangan penyakit karat. Keberhasilan proses infeksi bergantung pada kelembaban pada permukaan tanaman, dengan waktu optimum 6 jam dan maksimum 10–12 jam. Suhu optimum untuk infeksi berkisar antara 15–28°C (Monte *et al.*, 2003). Urediospora dapat berkecambah dengan optimum pada suhu 15-25°C. Pada kedelai infeksi paling banyak terjadi pada suhu 20-25°C dengan embun selama 10-12 jam, pada suhu 15-17°C diperlukan embun selama 16-18 jam. Masa berembun terpendek untuk terjadinya infeksi pada suhu 20-25°C adalah 6 jam, sedang pada 15-17°C adalah 8-10 jam. Bakal uredium mulai tampak 5-7 hari setelah inokulasi dan pembentukan spora terjadi 2-4 hari kemudian. Intensitas penyakit karat lebih berat terjadi pada tanaman kedelai saat musim hujan (Semangun, 1991). Urediospora dapat bertahan pada suhu kamar (23-24°C dengan 55 sampai 60% RH) bertahan selama 18 hari bila dipelihara pada daun yang terinfeksi (Furtado *et al.*, 2007).

Penanaman varietas kedelai yang tahan penyakit karat merupakan cara pengendalian yang murah, mudah dilaksanakan, dan tidak mencemari lingkungan. Menanam varietas tahan dimaksudkan untuk mengurangi jumlah inokulum awal (Zadoks dan Schein, 1979). Hubungan antara umur panjang dan ketahanan, dan antara umur pendek dengan kerentanan terdapat kolerasi positif. Ketahanan ternyata bersifat dominan dan ditentukan oleh dua gen mayor (Semangun, 1991).

Penjemuran daun kedelai yang terinfeksi di bawah sinar matahari dengan intensitas cahaya 700 *lux* dapat menurunkan daya kecambah uredospora sehingga uredospora hanya mampu bertahan selama 6 jam. Selain itu, sinar ultra violet juga menurunkan daya kecambah uredospora (Sudjono, 1979).

2.4. Pengaruh lingkungan terhadap epidemi penyakit tumbuhan

Perlu diketahui bahwa sebagian besar penyakit tanaman yang terjadi pada banyak jenis tanaman maupun lahan pertanian biasanya tidak berkembang menjadi epidemi berat dan meluas. Tanaman inang rentan dengan patogen virulen yang terdapat pada saat yang sama dalam suatu areal tidak selalu menjamin terjadinya infeksi berat, tetapi dipengaruhi oleh serangkaian faktor-faktor yang mengendalikan lingkungan tempat epidemi berkembang. Lingkungan dapat mempengaruhi tanaman inang dalam bentuk: ketersediaan, tingkat pertanaman, sukulensi, kerentanan genetik dan lain-lain. Patogen dapat dipengaruhi lingkungan dalam bentuk daya tahan hidup, laju reproduksi, sporulasi, perkecambahan spora, arah penyebaran, jarak penyebaran dan lain-lain. Lingkungan mungkin juga mempengaruhi jumlah dan aktivitas vektor. Faktor lingkungan yang sangat penting mempengaruhi perkembangan epidemi penyakit tanaman adalah kelembaban, suhu, dan aktivitas manusia yaitu bercocok tanam (Purnomo, 2002).

2.5. Migrasi dan penyebaran penyakit tumbuhan

Pengetahuan mengenai cara-cara penyebaran atau perpindahan patogen dari satu tempat ke tempat lain sangat penting untuk diketahui dikarenakan pertumbuhan dan pergerakan aktif tidak cukup berarti untuk mendapatkan sumber makanan. Hubungan antara patogen dengan sumber makanannya tidak pernah berlangsung terlalu lama dan kita ketahui bahwa patogen sering berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya.

Pengetahuan mendasar mengenai penyebaran dan perpindahan patogen dari satu tempat ke tempat lain sangat penting diketahui karena berkaitan dengan meluasnya epidemi penyakit. Udara, air, tanaman, manusia, binatang, dan tanah adalah sarana patogen berpindah dari tempat. Dengan demikian karena kepasifan dari patogen, maka haruslah ada suatu cara yang mampu memindahkan patogen ke tempat yang lain. Atas dasar sifat penyebaran maka dikelompokkan ke dalam dua kelompok, yaitu penyebaran secara langsung dan penyebaran secara tak langsung (Sastrahidayat, 2013).

2.5.1. Penyebaran patogen secara langsung

Penyebaran patogen secara langsung pada dasarnya mekanisme penyebaran disebabkan oleh aktifitas pertanian, misalnya adanya propagul patogen yang nantinya menjadi inokulum dan terbawa karena menempel pada bagian tanaman. Dalam masalah ini misalnya patogen yang menempel pada benih atau benih sakit yang diperoleh dari indukkan yang sakit (Sastrahidayat, 2013).

2.5.2. Penyebaran patogen secara tidak langsung

Penyebaran secara tidak langsung dapat terjadi melalui angin, air, binatang atau manusia. Penyebaran tidak langsung digolongkan menjadi penyebaran otomatis, penyebaran melalui udara, penyebaran melalui angin, penyebaran melalui serangga, *mite*, nematoda, dan penyebaran melalui manusia (Sastrahidayat, 2013).

1. Penyebaran melalui angin

Patogen harus menghasilkan spora untuk dapat berkembang, menyebar dan menetap dalam kondisi sesuai pada tumbuhan yang rentan. Spora yang telah disebarkan oleh udara nantinya dapat diketahui setelah spora itu tumbuh pada suatu tanaman. Berdasarkan jamur patogen sangat sesuai disebarkan melalui angin, dengan menghasilkan dan melepaskan sejumlah spora yang sangat kecil ke udara, yang nantinya dapat terbawa sampai jarak yang jauh. Semua patogen yang menghasilkan spora atau konidium pada permukaan tanaman disebarkan melalui angin misalnya pada penyakit karat (*rust*). Patogen memiliki berbagai macam cara untuk menghasilkan propagul dan dihasilkan persatuan luas pada jaringan-jaringan yang terinfeksi.

Dengan adanya angin maka patogen dapat berpindah dan menyebar ke suatu tempat. Penyebaran didefinisikan suatu proses perjalanan melalui jarak tertentu di dalam ruang tertentu dari waktu pemberangkatan sampai waktu pendaratan spora. Penyebaran di bagi menjadi tiga kategori yaitu penyebaran dalam kanopi, penyebaran dari kebun ke kebun, penyebaran jarak jauh. Pertama penyebaran dalam kanopi, pada permulaan musim tanam inokulum awal datang dan infeksi awal terjadi pada daun bagian bawah melalui proses damparan.

Sejalan dengan pertumbuhan tanaman daun baru akan dihasilkan yang pada gilirannya daun tersebut akan diinfeksi kembali oleh patogen.

Kedua yaitu penyebaran dari kebun ke kebun (jarak dekat), penyebaran patogen melalui tanah dari lapang ke lapang dibawa oleh aliran air, deposisi partikel tanah oleh angin. Penyebaran patogen dari lapang ke lapang dapat disebabkan oleh alat pertanian yang terjadi selama operasi pengolahan tanah secara rutin. Ketiga penyebaran jarak jauh, jika jarak penyebaran patogen berasal dari sumber sasaran melebihi jarak sekitar 200 km atau lebih selama fase perkembangan epidemi, hal ini dapat disebut sebagai penyebaran jarak jauh (Sastrahidayat, 2013).

2. Penyebaran melalui udara

Penyebaran inokulum melalui udara (*airborne*) sering dilakukan oleh patogen jamur dan bakteri. Pada jamur telah berkembang struktur khusus untuk penyebaran melalui udara, sedangkan pada bakteri hal ini tidak ada. Pada jamur, penyebaran spora dan fragmen hifa terkadang berfungsi sebagai inokulum. Dengan penyebaran melalui udara yang efisien maka suatu patogen bisa bertahan hidup.

Pada kebanyakan jamur, penyebaran spora-spora dapat mencapai jarak ratusan sampai ribuan kilometer, dan spora tersebut berfungsi sebagai inokulum primer. Pada beberapa jamur, spora dapat menyebar dalam jarak pendek saja, dan akan mempercepat perkembangan epidemi yang sebelumnya telah terjadi. Adapun faktor yang mempengaruhi efisiensi penyebaran inokulum di udara sebagai berikut; jumlah spora yang diproduksi, efisiensi penyebaran spora dari sumbernya, mudah tidaknya spora terbawa oleh angin, efisiensi penempatan spora dari udara ke substrat yang sesuai (Sastrahidayat, 2013).

2.6. Konsep Aerobiological

Setiap hari tak terhitung banyaknya mikroba yang diangkut jarak yang luas melalui atmosfer. Studi tentang faktor-faktor dan proses yang mempengaruhi pergerakan biota di atmosfer disebut biologi udara (Gregory, 1973 dan Isard *et al.*, 2001 dalam Dufault, 2008). Model proses biologi udara mencirikan bagaimana cara suatu organisme bergerak atau berpindah melalui atmosfer. Model ini

dipisahkan menjadi lima komponen atau tahapan (1) produksi spora dari tanaman inang, (2) pelepasan spora, (3) transportasi horisontal, (4) pendaratan, dan (5) mendarat pada reseptor.

2.6.1. Produksi spora

Spora-spora jamur diproduksi melalui berbagai cara, tergantung pada spesies dan lingkungan (pengaruh lingkungan lebih kecil). Spora-spora yang tersebar secara aseksual mungkin diproduksi dari konidiofor, sporangium, atau dalam badan-badan buah seperti piknidium, aservulus. Spora-spora yang tersebar secara seksual bisa terbentuk dalam askokarp-askokarp atau basidiokarp-basidiokarp.

Inokulum tular udara tergantung adanya kesempatan yang mendukung. Inokulum tular udara, pergerakannya dipengaruhi oleh pergerakan udara karena untuk bisa mempengaruhi pendaratan pada tempat yang sesuai sangat bisa diharapkan. Untuk memperbesar kemungkinan spora bisa sampai pada tempat yang sesuai maka spora diproduksi dalam jumlah yang banyak. Produksi spora juga sangat bermacam-macam tergantung spesies jamur dan modifikasi oleh pengaruh lingkungan. Pada karat batang gandum (*Puccinia graminis*) mampu menghasilkan 15.000 spora peruredium perhari pada inang yang rentan (Sastrahidayat, 2013). Pada karat daun kedelai, *Urediospora* berkembang sangat cepat dan dapat dibentuk dalam jumlah yang sangat banyak. Jika satu bercak rata-rata memproduksi lebih dari 12.000 uredospora dalam 4-6 minggu maka dari 400 bercak akan terjadi serangan yang berat (Sumartini, 2010). Tingginya jumlah spora yang diproduksi bukan menjadi faktor utama dalam penentuan efisiensi penyebaran spora, Akan tetapi lama dan periodesitas produksi spora tampaknya dapat meningkatkan efisiensi penyebaran tersebut.

2.6.2. Pelepasan spora

Spora-spora jamur, maupun sel-sel bakteri yang dilepas pasif memperoleh energi pelepasan itu dari luar seperti angin, perubahan kelembaban, atau energi kinetik dari jatuhnya tetesan hujan. Efisiensi penyebaran spora dapat ditingkatkan dengan pelepasan spora ke lapisan udara turbulen perlu diperhitungkan. Pelepasan spora merupakan suatu proses lepas landas (*take off*) spora ke udara dari tempat

spora diproduksi. Penyebaran spora yang efisien tergantung pada spora dalam hal mengatasi gaya adhesif yang mengikatnya pada substrat, dalam menyeberangi udara tenang (*still air*) dan lapisan udara yang bergerak perlahan-lahan (*boundary laminar*), dan dalam memasuki udara turbulen di atmosfer. Pada dasarnya permukaan segala macam obyek diliputi oleh suatu lapisan udara yang tenang dan suatu lapisan dari lapisan udara yang bergerak perlahan-lahan. Ketebalan lapisan boundary laminar ini berubah-ubah menurut kecepatan angin dan kekasaran permukaan yang berdekatan. Dalam kondisi berangin, ketebalan boundary laminar hanya dalam ukuran milimeter saja, akan tetapi dalam kondisi tanpa angin ketebalan dapat mencapai beberapa sentimeter dan bahkan meter (Sastrahidayat, 2013).

Dalam proses pergerakan angin, tidak mengikuti garis lurus tetapi berkelok-kelok sesuai dengan medan yang dilaluinya. Angin akan berubah-ubah atau berbelok ke arah lain jika kekuatan dorongannya lebih rendah dari resistensi yang dimiliki oleh struktur fisik yang diterpanya. Kecepatan angin juga tidak stabil, pergerakan angin akan lebih cepat jika resistensi media yang didahuluinya rendah. Fenomena arah dan kecepatan angin yang berubah-ubah ini disebut dengan turbulensi (Lakitan, 2002).

2.6.3. Transportasi horisontal

Penyebaran spora secara horisontal melalui udara telah dipelajari dengan memakai metode sampling, dan mempelajari perkembangan penyakit tanaman pada jarak yang berbeda-beda dari sumber inokulum. Setelah spora terlepas dari inang maka spora tersebut akan berada di udara, dan jika spora tersebut bisa sampai pada lapisan turbulen, memungkinkan spora tersebut terbawa menuju tempat lain.

Dengan adanya lapisan turbulen mengakibatkan spora-spora tular udara bisa mencapai jarak sangat jauh (13 ribu kilometer), namun kebanyakan penyebaran spora jamur dihalangi pula oleh gunung-gunung, lautan, maupun gurun. Untuk mengadakan infeksi di areal baru spora-spora tersebut harus tetap bertahan hidup selama di udara. Daya hidup dan kepekaan masing-masing spesies berlainan terhadap bahaya-bahaya alami (radiasi ultra violet dan suhu ekstrim).

Dinding tebal dan berpigmen lebih melindungi spora-spora itu dibandingkan dengan dinding tipis dan tidak berpigmen.

Gerakan spora dari landasannya adalah dalam arah tiga dimensi, dan dapat disamakan seperti gerakan asap dari suatu api. Semakin jauh dari sumber konsentrasinya mendekati nol pada jarak 100-200 meter dari sumber. Secara normal, konsentrasi spora di udara berbanding terbalik dengan ketinggian dari tanah. Peneliti-peneliti Kanada menemukan bahwa terjadi hubungan logaritmik antara konsentrasi spora di udara dengan ketinggian dari tanah.

Jarak tempuh vertikal spora berhubungan dengan ukurannya. Makin besar dan berat spora itu, pengaruh gravitasi yang bekerja padanya makin besar, terutama keadaan udara non turbulen (pada malam hari yang cerah dan tenang). Keluasan biosfer secara vertikal belum diketahui dengan pasti. Namun pernah ditemukan spora-spora hidup pada ketinggian lebih dari 30.000 meter dengan konsentrasi spora 1 buah per 32.000 milimeter udara. Spora yang relatif umum dijumpai pada ketinggian tinggi ialah spora *Cladosporium* dan *Alternaria*. Kendati umumnya spora-spora jamur berjarak tempuh 100-200 meter dari sumber, akan tetapi dengan angin yang normal dan turbulen beberapa spesies bisa mencapai lebih jauh.

2.6.4. Pendaratan spora

Mekanisme mengenai pendaratan spora pada beberapa substrat atau media bermacam-macam. Baik itu substrat padat atau cair, menurut Sastrahidayat (2013) macam mekanisme pendaratan spora yaitu damparan (*impaction*), pengendapan seperti pasir dan air (*sedimentation*), perubahan lapisan boundary (*boundary layer exchange*), daya turbulensi (*turbulent deposition*), daya tarik listrik (*electrostatic deposition*) dan pencucian oleh air hujan (*rain washing*). Berikut penjabarannya :

a. Damparan (*impaction*)

Secara teoritis maupun percobaan melalui terowongan angin telah dipelajari mengenai damparan dari partikel-partikel kecil. Jika suatu silinder padat dilintangkan (secara vertikal) terhadap arus angin, maka arus yang datang mendekat harus memutar mengelilingi silinder, bersama partikel-partikel yang terbawa. Kemungkinan partikel-partikel tersebut terbawa sampai jarak tertentu ke

silinder bisa saja terjadi, karena pengaruh momentumnya sendiri, sebelum ia dibawa memutar oleh angin atau mungkin juga beberapa partikel terbentur atau pada obyek itu.

Spora yang tertangkap melalui damparan jarang sampai 100 % sebab secara normal sebagian besar spora dibelokan mengelilingi obyek. Efisiensi damparan dipengaruhi oleh momentum spora ($\text{massa} \times \text{percepatan}$) dan oleh ukuran diameter obyek yang menghalangi arus udara.

b. Pengendapan

Di bawah kondisi stabil pada malam yang cerah, ketika permukaan tanah didinginkan dari radiasi, lapisan laminar boundary meningkat sampai beberapa meter, sehingga pengendapan dibatasi oleh lapisan tersebut. Kecepatan turunnya spora di bawah pengaruh daya gravitasi tergantung pada ukuran, kepadatan, bentuk, dan kekasaran spora. Spora besar lebih cocok untuk pengendapan dari pada spora kecil. Beberapa peneliti telah memodifikasi persamaan tersebut untuk spora-spora tak bundar dan berdinding kasar. Telah ada kesesuaian antara kecepatan pengendapan dan hasil penelitian. Kecepatan itu berkisar antara 0,05 cm/dt (spora kecil) sampai 2,4 cm/det (spora besar). Dengan volume spora yang sama, kecepatan terminal spora memanjang lebih rendah dibandingkan spora membulat.

c. Pertukaran dalam lapisan boundary (*Boundary layer exchange*)

Gregory (1973) mengajukan pendapat bahwa spora-spora yang dilepas dari lapisan boundary laminar sebagai hasil pengendapan, konsentrasinya dipulihkan lagi oleh hamburan partikel-partikel di angkasa. Hamburan (*Difusi*) ini membawa turun partikel-partikel ke lapisan boundary, dari situ partikel-partikel kemudian turun ke bawah melalui aksi gravitasi. Proses ini dikenalkan sebagai "*boundary layer exchange*" dan secara terus menerus mengisi lapisan udara tenang (*still air*) tanah dengan partikel-partikel yang kemudian mengendap karena sedimentasi.

d. Pengendapan turbulensi (*Turbulent deposition*).

Spora-spora dari udara yang bertiup horisontal melewati suatu permukaan, diendapkan lebih cepat dari pada diendapkan dengan sedimentasi karena aksi

gravitasi. Ditunjukkan bahwa spora-spora tertempel pada permukaan bawah maupun atas dari lempengan horisontal yang berpegas. Hal itu dipandang disebabkan oleh udara turbulen. Tapi mekanisme yang tepat belum diketahui untuk pengendapan turbulen ini.

e. Pengendapan akibat daya tarik listrik statik (*Electro static deposition*)

Beberapa jenis spora diketahui membawa muatan elektrostatis kecil ketika jatuh dari udara. Hal ini memungkinkan spora-spora tersebut untuk tertarik pada jarak dekat (± 1 mm) pada obyek-obyek lain (misalnya tanaman).

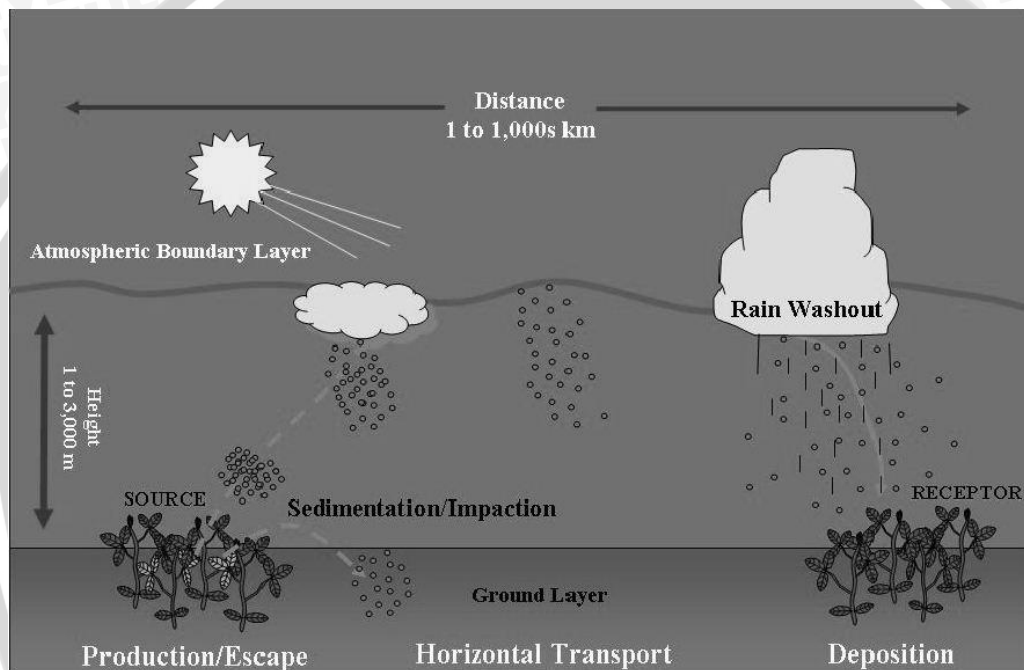
f. Pencucian oleh air hujan (*Rain washing*)

Diameter maksimum tetesan air hujan mencapai 5 mm, lebih dari itu ia tak stabil dan pecah, dan selama jatuhnya ia menjadi tetesan yang kecil kurang dari 5 mm. Kecepatan terminal jatuhnya tetes hujan berkisar dari 2-9 m/det. Selama jatuh, tetesan hujan bisa membawa serta spora-spora dari udara sampai ke permukaan tanah atau tanaman. Spora-spora kecil (misal dari jamur tanah *Penicilium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*) lebih sukar terbawa oleh hujan dari pada spora-spora besar (misal dari *Rust*, *Powdery mildew*, *Downy mildews*).

Kalkulasi teoritis menunjukkan bahwa spora-spora kecil seperti *Lycopodon* dan *Penicilium* akan terkumpul sebanyak nol persen oleh hujan dengan diameter kurang dari 1 mm dan kurang efisien oleh hujan berdiameter lebih besar lagi. Urediospora yang lebih besar (*Puccinia*), konidia (*Erysiphe*) dan basidiospora jamur api dapat terkumpulkan oleh tetes hujan dari berbagai ukuran. Efisiensi maksimum terjadi pada 80 persen dengan tetes hujan berdiameter ± 2.8 milimeter. Ukuran optimal spora untuk dapat diendapkan oleh air hujan bervariasi menurut tetesan air hujan tersebut. Efisiensi pengumpulan paling besar oleh tetesan hujan berdiameter 2 mm terjadi bagi spora bundar dalam semua ukuran, efisiensi 25 persen untuk spora ukuran kecil (diameter 4 μ m), dan 85 persen untuk spora besar berdiameter 20-30 μ m. Pengumpulan spora dalam tetes hujan, mekanismenya tidak diketahui terperinci. Tapi selain mengumpulkan spora dengan damparan, tetesan hujan dapat juga bereaksi sebagai kolektor-kolektor elektrostatis spora.

2.7. Penyebaran karat daun *P.pachyrhizi*

Urediospora *P. pachyrhizi* sangat mudah terbawa angin dan percikan air hujan sehingga cepat tersebar dan siklus akan terjadi berkali-kali dari musim ke musim. Tahapan penyebaran spora pada *P. pachyrhizi* dapat dilihat sebagai berikut; (1) produksi urediospora pada tanaman inang, (2) urediospora lepas dari kanopi, (3) transportasi turbulент urediospora melalui atmosfer, (4) kelangsungan hidup selama transportasi, dan (5) pengendapan urediospora atau berpindah ke populasi inang (Gambar 2.4).

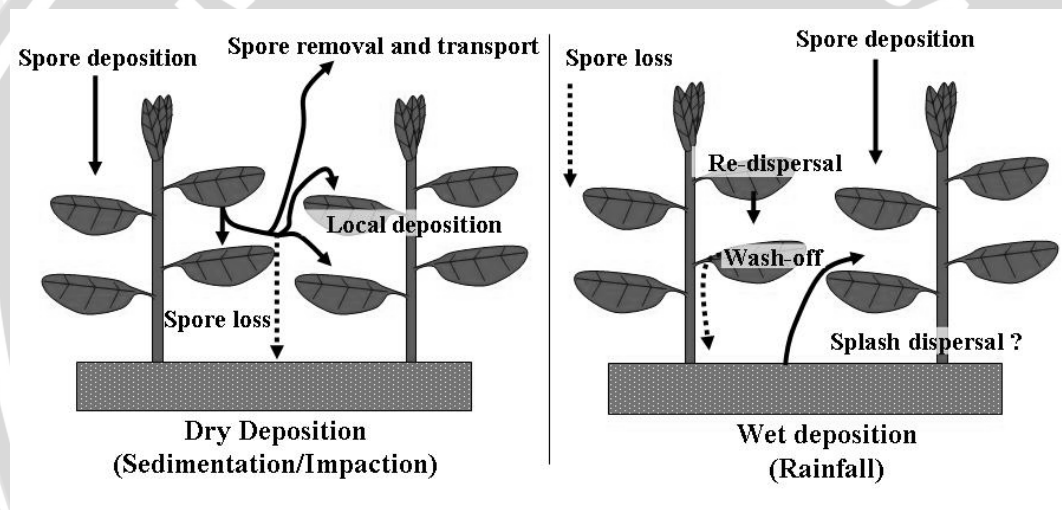


Gambar 2.4. Penyebaran *P. pachyrhizi* pada tanaman melalui udara (Dufault, 2008)

Gambar diatas merupakan proses penyebaran karat daun. Pertama diawali dengan terlepasnya urediospora dari sumber tanaman sakit atau keluar dari uredium untuk menjauh dari kanopi yang dibantu dengan adanya hembusan angin. Setelah urediospora berada di atmosfer, maka urediospora bisa menyebar ke tanaman inang yang rentan atau reseptor. Selama urediospora di udara untuk berpindah menuju tanaman lain, banyak faktor yang dapat mengakibatkan penurunan daya hidup sebelum spora tersebut mencapai reseptor atau tanaman inang yang rentan. Damparan atau mendaratnya spora lebih banyak terjadi dekat dengan sumber tanaman sakit, dan hujan membantu proses pengendapan pada jarak

jauh dari sumbernya. Apabila spora yang telah berpindah ke tanaman inang yang tidak sesuai, memungkinkan spora tersebut untuk berpindah ke tanaman lain (Aylor *et al.*, dalam Dufault, 2008).

Proses penyebaran di dalam kanopi di antara tanaman bisa saja terjadi, hal itu dikarenakan adanya pengendapan kering dan pengendapan basah karena hujan. Pengendapan kering hanya dapat terjadi di dalam lapisan udara dekat ke permukaan bumi dan terutama hasil dari sedimentasi dan damparan (Gambar 2.5) (Gregory, 1973 dalam Dufault, 2008). Sedimentasi adalah proses dimana mikroba menetap dari udara di bawah kekuatan gravitasi. Hal ini diamati selama kondisi kondisi laminar (*non turbulent*), yang di alam dapat terjadi dalam beberapa milimeter di atas permukaan reseptor.



Gambar 2.5. Pengendapan kering dan basah *P. pachyrhizi* pada tanaman kedelai (Dufault, 2008)

Gambar di atas menggambarkan mengenai pengendapan atau penyebaran spora di dalam suatu kanopi tanam kedelai, yaitu konseptual untuk pengendapan kering dan basah. Garis tebal merupakan menggambarkan kepadatan spora tinggi pada daun dan garis putus-putus menggambarkan kepadatan spora berkurang pada dedaunan. Penyebaran *Splash* atau percikan urediospora *P. pachyrhizi* secara teoritis mungkin terjadi, namun untuk saat ini tidak ada pengamatan percikan penyebaran yang telah dilaporkan.

III. BAHAN DAN METODE

3.1. Tempat dan waktu

Penelitian dilaksanakan di lahan percobaan yang terletak di Dusun Bendungan Desa Landungsari Kecamatan Dau Kabupaten Malang, Jawa Timur dan laboratorium Penyakit Tumbuhan Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang pada bulan Oktober 2014-Januari 2015.

3.2. Alat dan bahan

Alat-alat yang digunakan untuk penelitian ini yaitu cangkul, polybag, plastik sungkup, *object glass*, karton *termohyrometer*, anemometer tipe D816, kipas angin. Bahan yang digunakan adalah benih kedelai varietas Burangrang, vaselin, pupuk urea, SP 36, dan KCl.

3.3. Persiapan penelitian

a. Penyediaan benih

Benih kedelai yang digunakan adalah varietas Burangrang yang diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian (Balitkabi), Jl. Raya Kendalpayak Km 8, Malang

b. Penanaman kedelai

Kedelai ditanam ke dalam polybag dengan jumlah benih perlubang tanam sebanyak 2 biji. Pemupukan dilakukan 9 hari setelah tanam (hst) sesuai dosis rekomendasi pupuk tanaman kedelai adalah Urea 50 kg/ha, SP36 100 kg/ha dan KCl 100 kg/ha (Rukmana dan Yuniarsih, 1996).

c. Persiapan tanaman kedelai sebagai sumber penyakit

Persiapan tanaman kedelai yang sakit atau sebagai sumber penyakit dalam percobaan ini, maka beberapa tanaman kedelai yang sudah berumur 30 hari diinokulasi suspensi patogen karat daun setelah itu disungkup plastik dan dijaga kelembabannya dengan membasahi daun menggunakan air sampai dengan daun menunjukkan gejala karat daun maka plastik sungkup dilepas (Lampiran 2).

d. Pembuatan naungan

Pembuatan naungan menggunakan plastik, hal ini dilakukan untuk menghindari rusaknya tanaman karena terkena hujan dan untuk mengurangi pengaruh angin dari luar. Pembuatan naungan seperti halnya pembuatan naungan pada pembibitan tanaman (Lampiran 2).

e. Pembuatan terowongan angin

Dalam pembuatan terowongan angin, digunakan kertas karton yang dibentuk melingkar seperti hingga membentuk lorong atau terowongan dengan panjang terowongan 150 cm, lebar 32 cm, dan tinggi 47 cm dengan pada bagian satu sisi terowongan angin dihembuskan udara melalui kipas angin berukuran sedang (Sastrahidayat, 2013)

f. Perangkap spora

Perangkap spora di taruh pada terowongan angin dengan jarak perlakuan 20, 40, 60, 80, 100 cm dari sumber penyakit. Pada percobaan ini digunakan perangkap spora sederhana yang terbuat dari *object glass* yang telah disemir oleh vaseline sebagai perekat spora (Sastrahidayat, 2013).

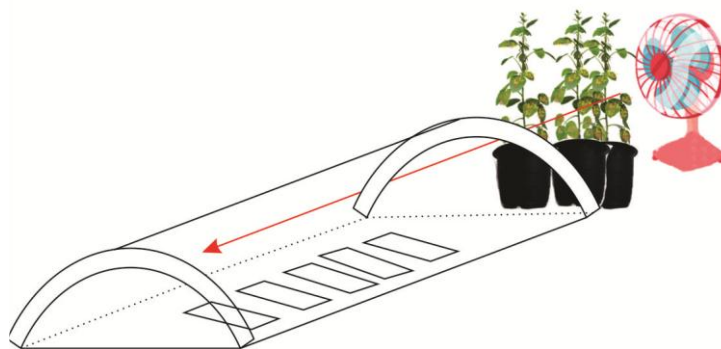
3.4. Rancangan percobaan I

Percobaan dilakukan untuk mengetahui jumlah spora yang terdampar pada perangkap spora dengan mengatur jarak masing-masing perangkap spora dari sumber inokulum. Perlakuan percobaan dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 3.1. Perlakuan perangkap spora

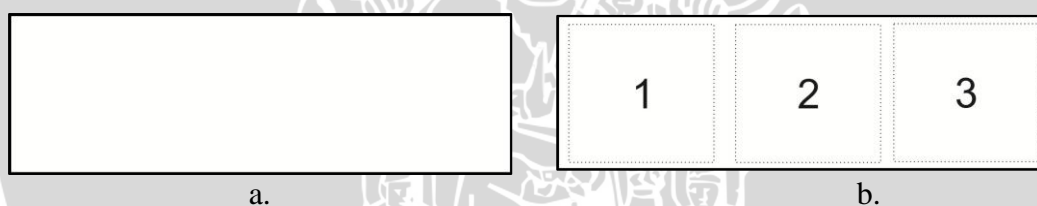
| Perlakuan | Jarak (cm) |
|-----------|-----------------------------|
| P1 | 20 cm dari sumber inokulum |
| P2 | 40 cm dari sumber inokulum |
| P3 | 60 cm dari sumber inokulum |
| P4 | 80 cm dari sumber inokulum |
| P5 | 100 cm dari sumber inokulum |

Setelah perangkap spora diatur dengan sesuai jarak perlakuan maka, perangkap spora ditutup dengan menggunakan karton sehingga membentuk terowongan. Kemudian sumber inokulum di taruh pada bagian depan dan diberi hembusan angin dengan kipas angin selama 15 menit (Sastrahidayat, 2013).



Gambar 3.1. Ilustrasi percobaan I

Perangkap spora diambil setelah proses inokulasi atau aplikasi selesai, kemudian dilakukan perhitungan jumlah spora yang tertangkap menggunakan mikroskop. Perhitungan jumlah spora pada perangkap spora dilakukan dengan cara membagi 3 bagian daerah yang diamati, sehingga dalam satu *object glass* terdapat tiga kali ulangan (Gambar 3.2).



Gambar 3.2. Perangkap spora (a) Perangkap spora $7,5 \times 2,5 \text{ cm}^2$ (b) Tiga luasan bidang pengamatan pada perangkap spora yang diamati, dengan luasan 1 bidang = $2,2 \times 2,2 \text{ cm}^2$.

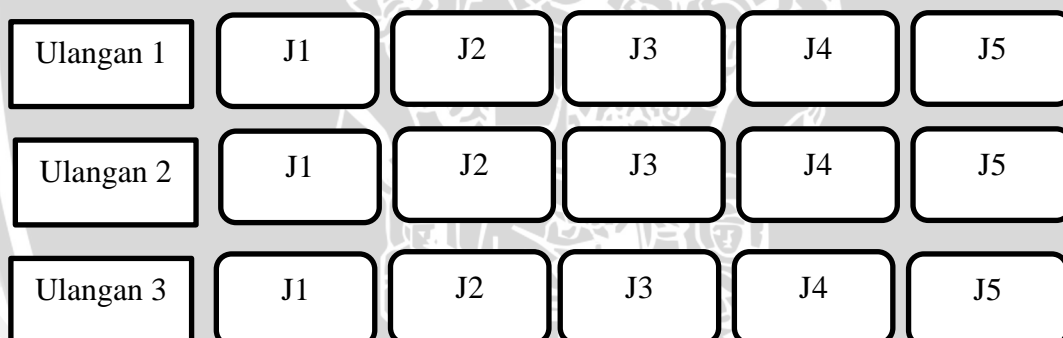
3.5. Rancangan percobaan II

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui intensitas penyakit karat daun dengan aplikasi hembusan angin, agar spora dari sumber inokulum bisa menyebar. Penelitian dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas perlakuan jarak tanam sehat terhadap sumber tanaman yang sakit pada terowongan angin, dan diulang sebanyak tiga kali ulangan. Berikut keterangannya :

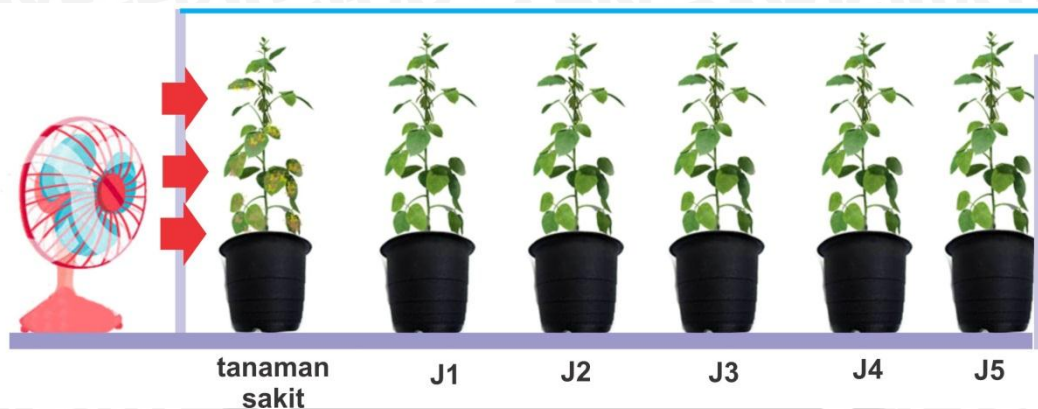
Tabel 3.2. Perlakuan terowongan angin

| Perlakuan | Jarak (cm) |
|-----------|-----------------------------|
| J1 | 20 cm dari sumber inokulum |
| J2 | 40 cm dari sumber inokulum |
| J3 | 60 cm dari sumber inokulum |
| J4 | 80 cm dari sumber inokulum |
| J5 | 100 cm dari sumber inokulum |

Tanaman sehat ditata sesuai dengan urutan perlakuan sesuai dengan rincian perlakuan sebelumnya dengan interval jarak 20 cm (Gambar 3.3). Kemudian terowongan angin yang terbuat dari karton dipersiapkan, dan ditaruh menutupi tanaman yang sehat untuk persiapan perlakuan. Setelah itu tanaman sakit atau sumber inokulum dipersiapkan dan ditaruh pada depan terowongan angin. Kemudian kipas angin dinyalakan selama lebih kurang 15 menit. Ilustari perlakuan seperti Gambar 3.4. Setelah selesai terowongan dilepas, kipas angin dan sumber inokulum dikeluarkan dari naungan dan perlakuan terowongan angin ini dilakukan pada seluruh baris tanaman setiap ulangan.



Gambar 3.3. Denah percobaan. keterangan gambar: J1 = jarak tanaman 20 cm dari sumber inokulum, J2 = jarak tanaman 40 cm dari sumber inokulum, J3 = jarak tanaman 60 cm dari sumber inokulum, J4 = 80 cm dari sumber inokulum, J5 = jarak tanaman 100 cm dari sumber inokulum.



Gambar 3.4. Ilustrasi perlakuan terowongan angin

3.6. Pengamatan

Penelitian ini memiliki beberapa macam variabel pengamatan, yang meliputi:

3.6.1. Identifikasi jamur *P. pachyrizi*

Identifikasi bertujuan mengetahui tanda dan gejala yang disebabkan oleh jamur karat kedelai. Pengamatan makroskopis dilakukan dilapang dengan cara melihat tanda dan gejala yang tampak pada daun sakit. Pengamatan mikroskopis dilakukan dengan pengamatan urediospora menggunakan mikroskop.

3.6.2. Menghitung kecepatan angin

Menghitung kecepatan angin pada kipas angin yang digunakan pada penelitian ini dengan menggunakan anemometer tipe D816, sehingga diperoleh kecepatan kipas angin 2,4 m/det.

3.6.3. Menghitung spora yang tertangkap

Spora yang menempel pada *object glass* diamati pada mikroskop dengan pembesaran 400x kemudian dihitung dan dicatat pada hasil pengamatan.

3.6.4. Intensitas penyakit

Metode yang digunakan adalah tidak merusak tanaman (*non destruktif*). Pengamatan intensitas penyakit dilakukan 9 hari setelah inokulasi (hsi) dan pengamatan selanjutnya dilakukan setiap 3 hari sekali.

Perhitungan intensitas serangan menggunakan rumus :

$$I = \frac{\sum (n \times V)}{ZN} \times 100 \%$$

Keterangan : I adalah intensitas serangan (%), n adalah jumlah daun yang terserang pada setiap kategori untuk setiap tanaman, V adalah nilai skala pada setiap kategori serangan, Z adalah nilai skor yang tertinggi (v=5), N adalah jumlah daun yang diamati pada setiap serangan. Skala infeksi penyakit karat pada kedelai

mengikuti skala yang dikemukakan oleh Tarr (1972) seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 3.3. Skala infeksi penyakit karat pada kedelai (Tarr, 1972)

| Skala | Keterangan |
|-------|--|
| 0 | Tidak ada infeksi |
| 1 | Infeksi sangat ringan (luas daun terinfeksi kurang 5%) |
| 2 | Infeksi ringan (luas daun terinfeksi 5 – 10 %) |
| 3 | Infeksi sedang (luas daun terinfeksi 10 – 25 %) |
| 4 | Infeksi berat (luas daun terinfeksi 25 – 50 %) |
| 5 | Infeksi sangat berat (luas daun terinfeksi lebih dari 50%) |

3.6.5. Laju infeksi penyakit

Perhitungan laju infeksi penyakit menggunakan *microsoft excel* (Lampiran 4) dengan menggunakan rumus berdasarkan model persamaan menurut Van der Plank (1963) sebagai berikut:

$$r = \frac{1}{t_2 - t_1} + (\logit x_2 - \logit x_1)$$

Keterangan : r adalah laju infeksi, t1 adalah pengamatan intensitas penyakit awal, t2 adalah pengamatan intensitas penyakit selanjutnya, x1 adalah intensitas penyakit pada t1, x2 adalah intensitas penyakit pada t2.

3.6.6. Cuaca

Pengukuran cuaca/iklim mikro, yang meliputi suhu dan kelembaban dengan *termohyrometer* digital di dalam naungan.

3.7. Analisa data

Metode analisa yang dilakukan pada perlakuan adalah analisis ragam dan apabila terdapat perbedaan yang nyata antar perlakuan akan dilanjutkan dengan uji benda nyata terkecil (BNT 5%).

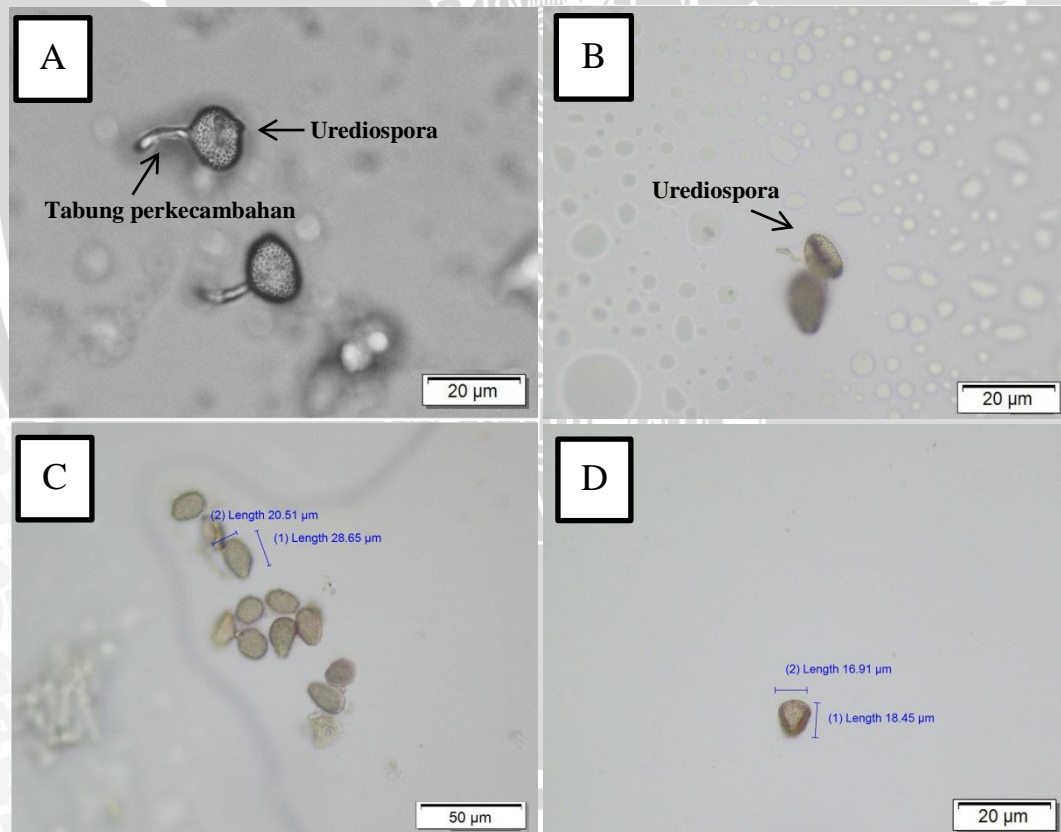


IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Identifikasi jamur patogen *P. pachyrhizi*

Pengamatan mikroskopis dan makroskopis karat daun bertujuan untuk mengetahui bentuk spora dan gejala akibat serangan penyakit karat. Selain itu tujuan daripada pengamatan ini adalah untuk memastikan bahwa gejala serangan karat daun pada kedelai disebabkan oleh patogen *P. pachyrhizi*.

Hasil pengamatan secara makroskopis, urediospora berbentuk bulat dan sedikit lonjong berwarna transparan atau kekuningan (Gambar 4.1). Pada bagian dinding urediospora nampak seperti duri atau bergerigi hampir menutupi sebagian besar urediospora. Ukuran urediospora berkisar 18,45-28 μm x 16,9-20,5 μm . Hal ini sesuai dengan pernyataan pada berbagai pustaka yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

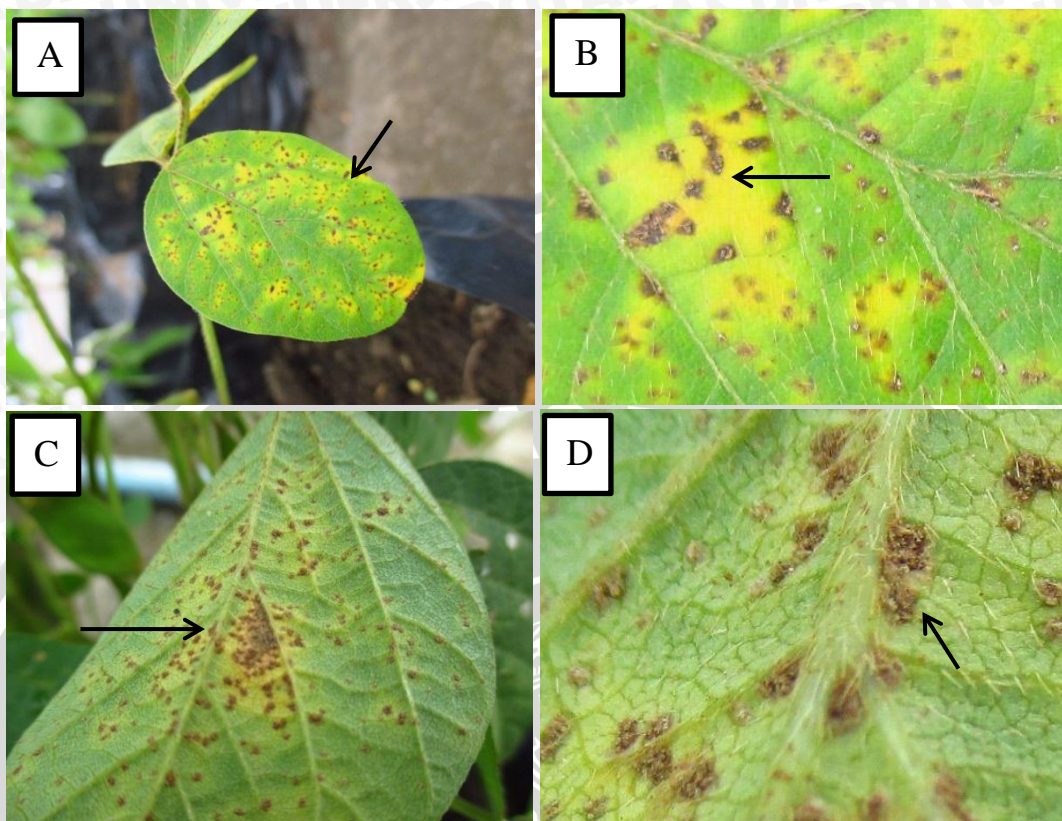


Gambar 4.1. Hasil pengamatan mikroskopis urediospora *P. pachyrhizi*. (a) Pada mikroskop dengan pembesaran 400x, urediospora berwarna hialin dengan tabung pekecambahan (tanda panah) (b) Pada mikroskop dengan pembesaran 400x urediospora berwarna kekuningan, (c) dan (d) Pengukuran urediospora

Tabel 4.1. Karakteristik urediospora karat daun pada kedelai

| Karakteristik | Keterangan | Sumber pustaka |
|------------------------------|--|------------------|
| Sumber Urediospora | Urediospora diproduksi didalam uredium/uredia | Semangun, 1991 |
| Ukuran urediospora | Ukuran urediospora berkisar 18 - 38 μm \times 13 - 29 μm | Bromfield, 1984. |
| Bentuk urediospora | Bentuk urediospora menyerupai bulat pendek atau jorong | Semangun, 1991 |
| Warna urediospora | Berwarna hialin dan coklat kekuningan. | Semangun, 1991 |
| Struktur dinding urediospora | Struktur urediospora berdinding hialin berduri halus dengan ketebalan berkisar 1-1,5 μm | Semangun, 1991 |

Awal gejala serangan karat daun pada kedelai adalah munculnya bercak kecil berwarna coklat kelabu pada permukaan daun, kemudian secara bertahap berubah warna menjadi coklat dan akhirnya coklat tua (Gambar 4.2). Bercak tersebut kemudian berkembang membentuk pustul atau kumpulan uredium. Bentuk pustul digambarkan seperti gunung api kecil, yang di dalamnya terdapat urediospora. Menurut Semangun (1991) menyatakan di pusat uredia yang menonjol terdapat lubang yang menjadi jalan keluarnya urediospora jamur karat. Sementara menurut Sumartini (2010) mengemukakan pustul yang telah matang akan pecah dan mengeluarkan tepung yang warnanya seperti karat besi. Tepung tersebut merupakan kantung-kantung spora yang disebut uredium dan berisi urediospora.



Gambar 4.2. Gejala penyakit karat daun (a) Gejala serangan pada permukaan daun bagian atas (b) Uredium pada permukaan daun bagian atas (c) Gejala serangan pada permukaan daun bagian bawah (d) Uredium pada permukaan daun bagian bawah

Pada umumnya gejala karat terlihat pada daun yang lebih muda. Bercak akan terbentuk pada sisi atas daun. Selanjutnya setelah tanaman mulai berbunga, bercak menjadi lebih besar dan terkadang bersatu, dan warnanya menjadi coklat tua atau hitam. Menurut Sinclair dan Backman (1989) jamur *P. pachyrhizi* mempunyai uredia yang dapat tumbuh sebagai parasit di permukaan atas dan bawah daun, tangkai, polong dan batang. Uredia di permukaan bawah daun lebih banyak dari pada di permukaan atasnya. Diameter uredia 100-200 μm , berwarna coklat muda hingga coklat. Bentuk uredia seperti piknidium, ujungnya berukuran 7,5-15 μm , dengan panjang 20-47 μm .

4.2. Jumlah spora tertangkap pada berbagai jarak inokulum

Berdasarkan hasil analisis ragam spora tertangkap menunjukkan bahwa perlakuan jarak tanaman terhadap sumber penyakit memberikan pengaruh nyata

terhadap jumlah spora yang tertangkap pada jarak 20 cm (Lampiran 1). Rerata jumlah spora yang tertangkap ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Rerata jumlah spora yang tertangkap pada perangkap spora

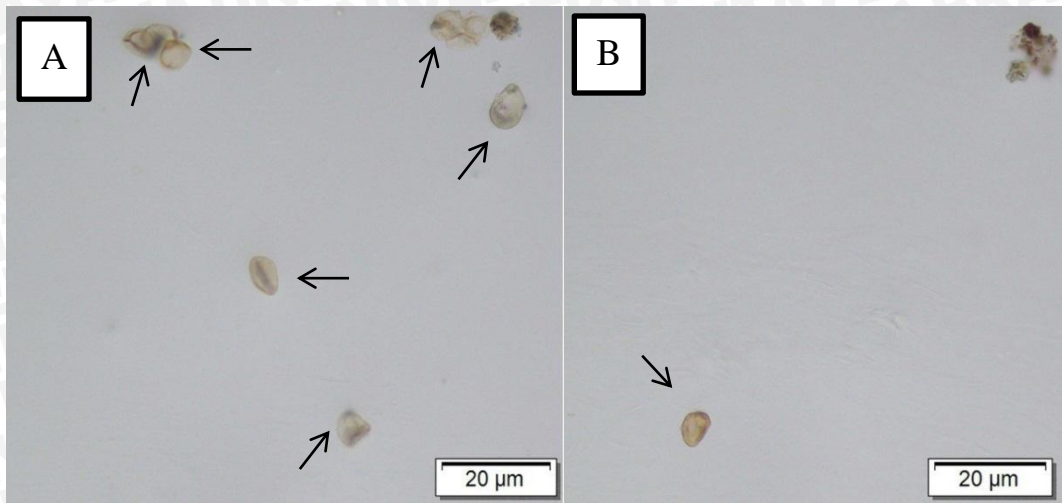
| Jarak dari sumber penyakit (cm) | Rerata jumlah spora (2,2 x 2,2 cm ²) |
|---------------------------------|--|
| 20 | 43 a |
| 40 | 17,67 b |
| 60 | 9,3 b |
| 80 | 10,67 b |
| 100 | 5,67 b |
| BNT 5% | 12,53 |

Keterangan : Angka yang didampingi huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%.

Pengamatan spora yang tertangkap terlihat semakin dekat perangkap spora pada sumber penyakit menunjukkan jumlah spora yang tertangkap akan semakin banyak jumlahnya. Tertangkapnya spora ini di karenakan adanya gaya gravitasi. Hembusan angin membantu lepasnya spora dari tanaman sakit sehingga spora menyebar dan pada akhirnya akan jatuh pada perangkap spora. Hal ini biasa kita kenal dengan istilah pengendapan atau damparan spora. Menurut Sastrahidayat (2013) menyatakan kecepatan turunnya spora dipengaruhi oleh daya gravitasi, kepadatan bentuk, dan kekerasan spora. Spora yang disebarkan melalui udara oleh angin akan mengendap kembali pada permukaan inang dan dapat menyebabkan infeksi. Dengan hanya daya hembus angin 2,4 m/det yang dihasilkan kipas angin, memungkinkan spora menyebar dan jumlah spora yang tertangkap pada jarak 20 cm lebih banyak dibandingkan dengan jarak yang lain.

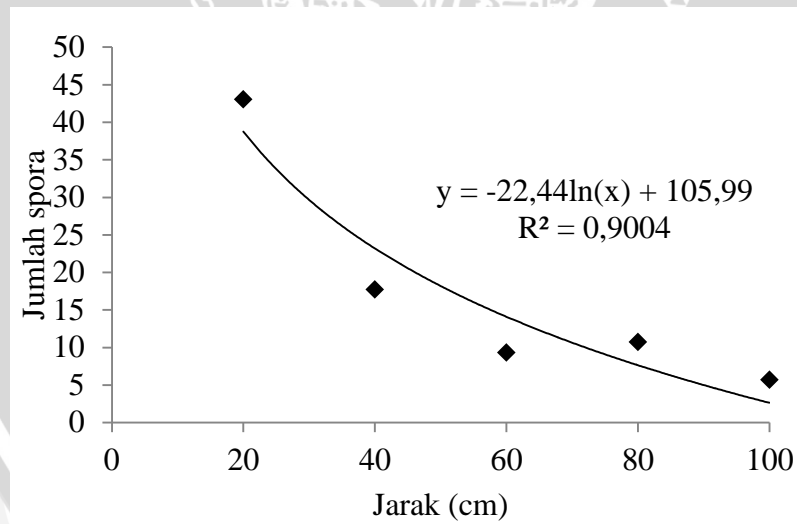
Menurut Chamberlain (1966) bahwa faktor utama yang mempengaruhi efisiensi damparan spora adalah kecepatan angin, kelengketan dan ukuran spora, ukuran dan efisiensi permukaan penerima damparan (daun). Pada penelitian ini luas penampang untuk perangkap spora hanya berukuran 7,6 x 2,5 cm² (luasan *object glass*) memungkinkan efisiensi damparan terhadap spora kecil, sehingga spora yang berhasil tertangkap hanya sedikit. Dengan adanya perangkap spora, maka penyebaran spora karat daun bisa diketahui dan diasumsikan sebagai jumlah inokulum awal yang terdampar pada daun kedelai yang diamati. Hasil pengamatan spora yang berhasil tertangkap pada perangkap spora, menunjukkan

penyebaran spora tidak merata memenuhi seluruh bidang pandang yang diamati. (Gambar 4.3).



Gambar 4.3. Penampilan kerapatan spora yang tertangkap pada perangkap spora (a) perlakuan 20 cm dari sumber inokulum (b) perlakuan 100 cm dari sumber inokulum

Hubungan antara jumlah spora yang tertangkap dengan jarak dari sumber inokulum memiliki hubungan yang sangat erat. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 4.4. Grafik hubungan rerata jumlah spora yang tertangkap pada perangkap spora dengan jarak dari sumber inokulum

Jarak perlakuan perangkap spora memiliki hubungan negatif dengan jumlah spora yang tertangkap (Gambar 4.4). Hal tersebut menunjukkan jika jarak perangkap spora lebih dekat dengan sumber inokulum maka jumlah spora yang tertangkap akan tinggi jumlahnya. Pada perangkap spora yang diletakkan 100 cm

dari sumber inokulum didapatkan jumlah spora lebih rendah jika dibandingkan dengan perlakuan jarak lainnya. Dari hasil uji regresi menunjukkan penurunan jumlah spora tertangkap dipengaruhi oleh jarak perlakuan sebesar 90% dan 10% dipengaruhi oleh faktor lain dengan persamaan $y = -22,44\ln(x) + 105,99$.

4.3. Intensitas serangan karat daun dengan berbagai jarak inokulum

Berdasarkan hasil analisis ragam intensitas penyakit pada pengamatan ke 12, 18, dan 21 hsi (Lampiran 1) menunjukkan bahwa perlakuan jarak tanaman terhadap sumber penyakit memberikan pengaruh nyata terhadap intensitas penyakit. Rerata intensitas karat daun ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Rerata intensitas penyakit karat daun (%) pada tanaman kedelai

| jarak (cm) | Rerata intensitas penyakit karat daun (%) | | |
|------------|---|---------|------|
| | Hari setelah inokulasi (hsi) | | |
| | 12 | 18 | 21 |
| 20 cm | 16 a | 29,33 a | 32 a |
| 40 cm | 13,33 ab | 24 b | 28 b |
| 60 cm | 8 b | 24 b | 28 b |
| 80 cm | 9,33b | 24 b | 28 b |
| 100 cm | 9,33 b | 22,67 b | 26 c |
| BNT 5% | 4,58 | 2,16 | 1,53 |

Keterangan : Angka yang didampingi huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%.

Pengamatan penyakit karat daun dilakukan pada 9 hari setelah tanam diaplikasi perlakuan dengan umur tanaman berkisar 40 hst. Perlakuan ini dilakukan dengan pertimbangan tanaman kedelai mulai terserang karat daun secara alami tanpa adanya perlakuan penyemprotan inokulum pada kisaran umur 30 hari setelah tanam. Kejadian ini sesuai dengan pendapat Sutakira dalam Hardiningsih (1986) yaitu saat kedelai telah berumur 30–40 hst serangan karat daun mulai tampak. Pada pengamatan ke dua belas, delapan belas, dan dua puluh satu setelah aplikasi menunjukkan hasil beda nyata. Hal ini diduga patogen karat membutuhkan waktu untuk melakukan produksi urediospora dengan membentuk uredium lainnya. Sehingga pada setiap pengamatan intensitas penyakit terus bertambah. Menurut Marchetti *et al.* (1975) bahwa uredium telah bisa diamati 5 hari setelah infeksi terjadi, dan urediospora diproduksi sejak 9 hari. Uredium tunggal dapat menghasilkan spora selama 3 minggu. Hal ini dimungkinkan untuk

melakukan sporulasi berlanjut selama 15 minggu dengan uredium primer maupun sekunder. Selain itu gejala penyakit tersebut juga muncul karena menunggu kondisi lingkungan dan tingkat pertumbuhan tanaman yang sesuai. Menurut Agrios (2005), beberapa infeksi patogen yang berhasil tidak menunjukkan gejala secara langsung, tetapi menunggu hingga kondisi lingkungan atau tingkat pertumbuhan tanaman sesuai.

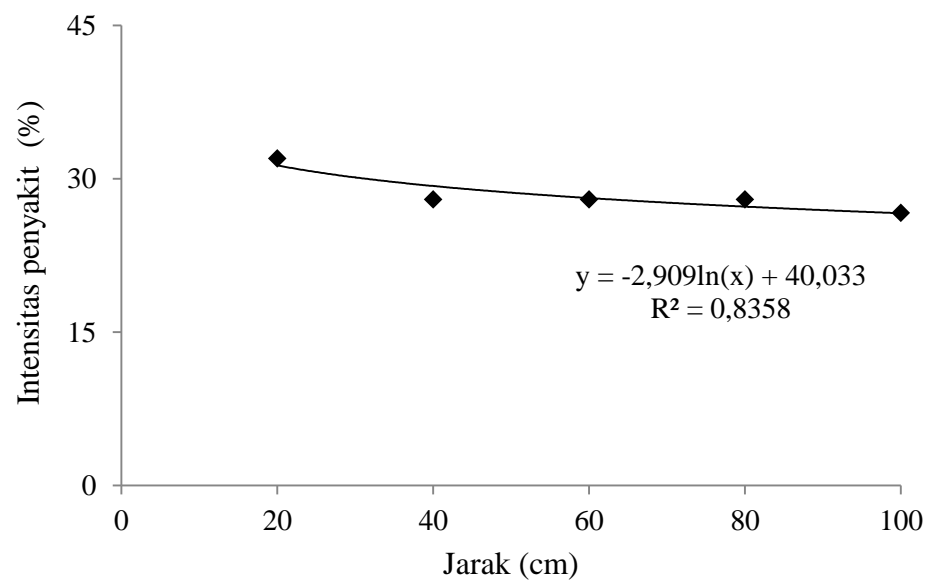
Dari Tabel intensitas penyakit (Tabel 4.3) menunjukkan persentase intensitas serangan lebih tinggi pada jarak 20 cm dari sumber penyakit dibanding dengan perlakuan pada jarak yang lainnya. Menurut Sastrahidayat (2013), beberapa spora patogen tanaman membentuk semacam bola spora dan ikatan ini akan meningkatkan daya infeksi yang disebabkan tingginya jumlah inokulum. Maka pada perlakuan jarak 20 cm diasumsikan bahwa jumlah inokulum yang terdampar pada daun yang diamati semakin banyak sehingga meskipun kondisi lingkungan kurang mendukung tidak semua spora akan mati, tetapi masih ada beberapa spora yang masih bisa bertahan dan mampu menginfeksi daun.

Menurut Sastrahidayat (1994), ada empat faktor yang mempengaruhi penyebaran melalui udara adalah jumlah spora yang diproduksi, efisiensi pembebasan spora dari sumbernya, efisiensi penempatan spora dari udara atau ke substansi yang sesuai dan mudah tidaknya spora terbawa oleh angin. Dalam penelitian ini spora yang terdapat pada tanaman yang sakit atau sebagai sumber inokulum dalam percobaan ini sangat bergantung pada kecepatan angin. Dengan adanya kecepatan angin dari kipas angin berkisar 2,4 m/det maka membantu proses keluar atau lepasnya urediospora yang berada di uredium untuk keluar dan menyebar ke tanaman lainnya. Namun penyebaran spora akan terhalang oleh beberapa daun maupun batang kedelai yang ada di depan pada masing-masing perlakuan sehingga spora tidak bisa langsung terbawa angin menuju titik terjauh.

Kecepatan angin rata-rata dan arah angin yang terjadi akan menjadi faktor penting dalam menentukan penyebaran lokal urediospora dari sumber inokulum. Kecepatan angin lebih tinggi akan membantu penyebaran urediospora yang relatif lebih jauh dari kecepatan angin rendah, namun secara umum urediospora mendarat beberapa jarak pertama dari sumbernya (Kiyosawa *et al.*, 1972 dalam Dufault, 2008). Pada perlakuan jarak 20 cm dari sumber penyakit menunjukkan

intensitas penyakit tinggi dikarenakan jumlah inokulum atau spora banyak yang terdampar pada daun-daun yang berada dekat dengan sumber inokulum. Hal ini bisa dihubungkan dengan percobaan sebelumnya yaitu semakin dekat perangkap dengan sumber inokulum maka spora yang terperangkap semakin banyak.

Hubungan antara intensitas penyakit dengan jarak dari sumber inokulum pada pengamatan 21 hsi memiliki hubungan yang erat. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 4.5.

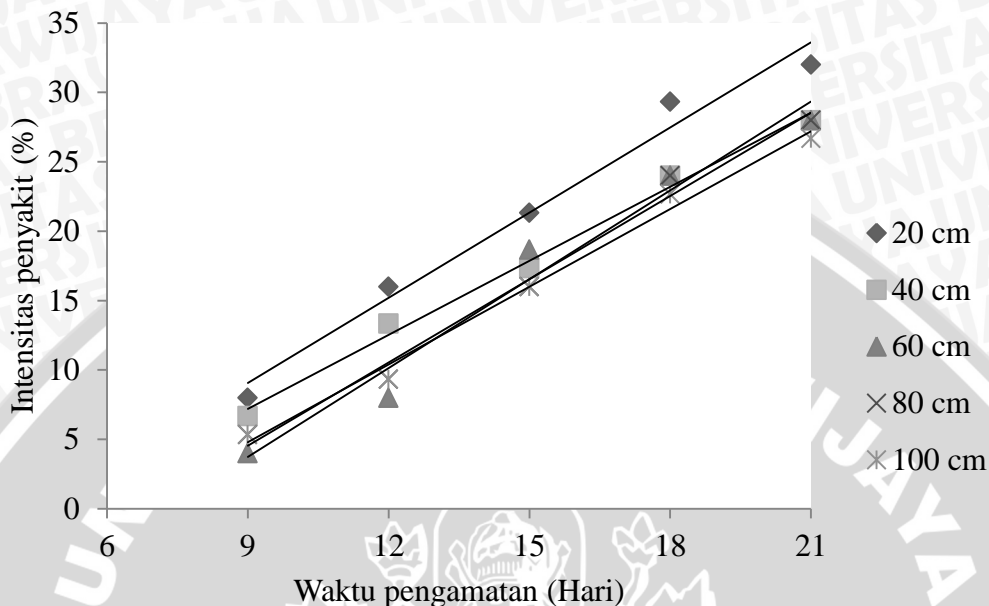


Gambar 4.5. Grafik hubungan intensitas penyakit karat daun terhadap jarak perlakuan

Jarak perlakuan memiliki hubungan negatif dengan intensitas penyakit karat daun (Gambar 4.5) yang artinya semakin jauh tanaman dari sumber inokulum maka intensitas penyakit akan mengalami penurunan. Hasil uji regresi menunjukkan bahwa intensitas penyakit dipengaruhi oleh jarak perlakuan sebesar 83% dan 17% dipengaruhi oleh faktor lain. Dengan persamaan $y = -2,909\ln(x) + 40,033$ dapat diestimasi persentase intensitas penyakit karat daun akan berkurang sebesar 1,56 % setiap penambahan jarak 1 cm dari sumber inokulum.

Perkembangan intensitas penyakit karat daun meningkat seiring dengan bertambahnya umur tanaman. Hal tersebut berlaku pada semua perlakuan yang diuji (Gambar 4.6). Meningkatnya intensitas penyakit karat daun berbanding lurus dengan bertambahnya umur tanaman yang dibuktikan dengan

hasil analisis regresi pada masing-masing perlakuan jarak yang diuji sebagai berikut



Gambar 4.6. Perkembangan penyakit karat daun kedelai pada masing-masing perlakuan jarak dari sumber inokulum

Pola perkembangan intensitas penyakit mengikuti pola linier positif pada semua perlakuan jarak terhadap sumber inokulum sampai dengan pengamatan 21 hari dengan persamaan sebagai berikut; pada jarak 20 cm dari sumber inokulum didapatkan persamaan $y = 2,0444x - 9,3333$ dengan $R^2 = 0,9796$, jarak 40 cm dari sumber inokulum didapatkan persamaan $y = 1,7778x - 8,8$ dengan $R^2 = 0,9926$, jarak 60 cm dari sumber inokulum didapatkan persamaan $y = 2,1333x - 15,467$ dengan $R^2 = 0,9713$, jarak 80 cm dari sumber inokulum didapatkan persamaan $y = 2x - 13,467$ dengan $R^2 = 0,9868$, jarak 100 cm dari sumber inokulum didapatkan persamaany $y = 1,8667x - 12$ dengan $R^2 = 0,991$.

Berdasarkan intensitas penyakit karat daun pada Tabel 4.3, dapat diketahui intensitas penyakit kumulatif sehingga dapat dihitung laju infeksi penyakit karat daun menggunakan model persamaan Van der Plank (1963), diperoleh laju infeksi penyakit karat daun pada Tabel 4.5. Perhitungan laju infeksi menggunakan *microsoft excel* (Lampiran 4).

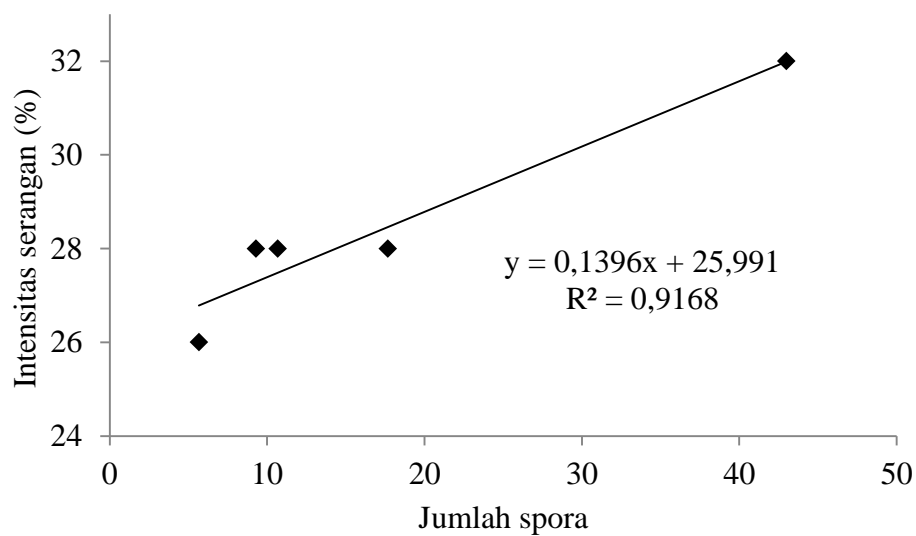
Tabel 4.4. Laju infeksi penyakit karat daun pada jarak dari sumber inokulum

| Jarak dari sumber inokulum (cm) | Laju infeksi penyakit (hsi) | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|-------|-------|------|--------|
| | 9-12 | 12-15 | 15-18 | 8-21 | Rerata |
| 20 | 0,63 | 0,46 | 0,47 | 0,37 | 0,48 |
| 40 | 0,63 | 0,45 | 0,47 | 0,40 | 0,49 |
| 60 | 0,63 | 0,70 | 0,44 | 0,40 | 0,54 |
| 80 | 0,58 | 0,57 | 0,51 | 0,40 | 0,51 |
| 100 | 0,58 | 0,57 | 0,48 | 0,40 | 0,51 |

Hasil perhitungan laju infeksi didapatkan bahwa pada jarak 60 cm memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan perlakuan jarak dari sumber inokulum lainnya. Hal ini diduga pada jarak tanaman 60 cm di dalam naungan memiliki kondisi iklim mikro yang mendukung untuk laju infeksi karat daun akibat jarak antar perlakuan tanaman dan ulangan yang lebih rapat. Manengkey dan Senewe (2011) bahwa laju infeksi dapat diartikan apakah patogen agresif, inang rentan atau tahan dan apakah lingkungan mendukung atau tidak untuk perkembangan penyakit. Sedangkan menurut Nirwanto (2007) laju infeksi penyakit pada tanaman inang merupakan jumlah pertambahan infeksi per satuan waktu.

4.4. Hubungan jumlah spora tertangkap dengan intensitas serangan karat daun

Hubungan antara jumlah spora dengan intensitas penyakit pada pengamatan 21 hsi memiliki hubungan yang erat. Jumlah spora yang tertangkap memiliki hubungan positif dengan intensitas penyakit karat daun. Bahwa semakin banyak jumlah spora maka intensitas serangan karat daun semakin meningkat. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Hubungan jumlah spora dengan intensitas karat

Dari hasil uji regresi menunjukkan bahwa jumlah spora tertangkap berkaitan dengan intensitas penyakit sebesar 91% dan 9% dipengaruhi oleh faktor lain. Dengan persamaan $y = 0,1396x + 25,991$ dapat diestimasi persentase intensitas penyakit karat daun akan bertambah sebesar 2,7% setiap bertambahnya 1 spora. Menurut Hayati (2009) menunjukkan semakin tinggi konsentrasi inokulum *P. pachyrhizi* maka intensitas serangan karat daun pada kedelai semakin tinggi.

4.5. Suhu dan kelembaban

Telah diketahui bahwa perkembangan penyakit dipengaruhi oleh cuaca tertentu. Jamur membutuhkan kelembaban pada permukaan tanaman yang peka untuk bisa memperbanyak diri dan menginfeksi tanaman. Setelah spora menyebar dan mendarat disuatu permukaan daun selanjutnya spora akan melakukan infeksi maka, iklim mikro akan mendukung proses terjadi infeksi tersebut sampai dengan penyakit tersebut bisa bertahan hidup dan memproduksi spora. *Termohyrometer digital* digunakan untuk mengukur suhu minimum dan kelembaban maksimum di dalam naungan bisa tercatat (Tabel 4.5).

Tabel 4.5. Pengamatan suhu

| Pengamatan ke (hsi) | Suhu harian (°C) | Suhu minimum (°C) |
|---------------------|------------------|-------------------|
| 9 | 27 | 22,3 |
| 12 | 26,4 | 25,8 |
| 15 | 27,5 | 24,5 |
| 18 | 28 | 20,1 |
| 21 | 27,4 | 21,6 |

Berdasarkan Tabel 4.5 diatas rerata suhu berkisar 27,26°C sedangkan rerata suhu minimum yang tercatat berkisar 22,86°C. Dengan nilai suhu minimum tersebut maka proses infeksi karat daun bisa terjadi. Seperti halnya yang dikemukakan Monte *et al.*, 2003 bahwa suhu optimum untuk infeksi karat daun berkisar antara 15–28°C. Infeksi pada kedelai paling banyak terjadi pada suhu 20–25°C. Urediospora dapat berkecambah dengan optimum pada suhu 15–25°C dengan embun selama 10–12 jam, pada suhu 15–17°C diperlukan embun selama 16–18 jam. Masa berembun terpendek untuk terjadinya infeksi pada suhu 20–25°C adalah 6 jam, sedang pada 15–17°C adalah 8–10 jam.

Selain suhu, kelembaban juga dapat mempengaruhi perkembangan penyakit karat kedelai. Hasil pengamatan kelembaban ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Pengamatan kelembaban

| Pengamatan ke (hsi) | Kelembaban harian (%) | Kelembaban maksimum (%) |
|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| 9 | 68 | 99 |
| 12 | 67 | 99 |
| 15 | 73 | 99 |
| 18 | 65 | 95 |
| 21 | 67 | 94 |

Berdasarkan hasil pengamatan kelembaban Tabel 4.6, menunjukkan kelembaban harian berkisar 68%, dan nilai kelembaban maksimum tercatat mencapai 99% artinya, meskipun kelembaban berkurang pada siang hari namun diduga saat sore sampai malam hari kelembaban akan meningkat. Menurut Melching *et al.* (1989) bahwa kelembaban lebih dari 80% selama 4 sampai 6 jam adalah yang diperlukan untuk pengembangan penyakit dan urediospora akan kehilangan kemampuan infeksi setelah 8 hari pada dedaunan yang benar-benar kering.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Penyebaran *P. pachyrhizi* secara horisontal dari inang oleh angin mengikuti pola logaritmik baik pada penyebaran spora maupun terjadinya tingkat serangan dengan masing-masing pola digambarkan dengan persamaan $y = -22,44\ln(x) + 105,99$ untuk hubungan jarak dengan jumlah spora yang tertangkap dan $y = -2,909\ln(x) + 40,033$ untuk hubungan jarak dari sumber inokulum dengan tingkat intensitas karat daun.
2. Perkembangan intensitas penyakit mengikuti pola linier positif pada setiap perlakuan jarak tanam dari sumber inokulum. Pola ini dipertahankan sampai dengan umur tanaman 21 hari setelah inokulasi.

5.2 Saran

Penelitian ini menggunakan kapasitas kecepatan angin yang sedang dan luas perangkap spora realtif kecil sehingga untuk penelitian selanjutnya penambahan kecepatan angin dan memperluas ukuran perangkap spora perlu dilakukan untuk penelitian terowongan angin dengan jarak yang lebih jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G.N. 2005. Plant pathology. Fifth Edition. Elsevier Academic Press. San Diego. 948h.
- Aylor, D. E. 1986. A framework for examining inter-regional aerial transport of fungal spores. *Ag. and For. Meteorol.* 38:263-288h.
- Alexopolus, C.W., CJ Mims, M. Blackwell. 1996. Introductory mycology. Fourth edition John Wiley and sons, inc. New York. 880 h.
- Baharsjah, J. S. 1992. Legum. Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor. 98 h.
- Bromfield, K. R. 1984. Soybean rust. Monograph. The American Phytopathological Society: St. Paul, Minnesota. p. 1-58h.
- Chamberlain, A. C. 1966. Transport of lycopodium spores and other small particles to rough surfaces. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences.* p. 45-70h.
- Dufault, N. S. 2008. The deposition of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores on Soybean. Dissertation. The Pennsylvania State University. 157 h.
- Fachruddin, L. 2000. Budidaya kacang-kacangan. Penerbit Kanisius, Yogyakarta
- Furtado, G. Q., Alves, S., Czermainski, A., and Massola, N. 2007. Preservation of *Phakopsora pachyrhizi* uredospores. *J. Phytopathol.* 156:62-64.
- Gregory, P. H. 1973. Microbiology of the atmosphere, ed. N. Polunin. Leonard Hill Books. Aylesbury. 377h.
- Giller, K. E. and K. E. Dashiell. 2010. Protabase record display prota4u (*Glycinemax*)Merr. <http://www.prota4u.org/protav8.asp?g=pe&p=Glycine+max+%28L.%29+Merr.> [25 Desember 2010]
- Goellner, K., M. Loehrer, C. Langenbach, U. Conrath, E. Koch, and U. Schaffrach. 2010. *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian soybean rust. *Molecular Plant Pathology* 11: 169-177h.
- Hardaningsih, S. 1986. Hubungan antara serangan jamur karat (*Phakopsora pachyrhizi* Syd) dan hasil kedelai (*Glycine max* (L)). Program studi Fitopatologi Jurusan Ilmu-ilmu Pertanian. Fakultas Pasca Sarjana UGM. Jogjakarta. 72 h.
- Hayati, I. 2009. Uji beberapa konsentrasi inokulum *phakopsora pachyrhizi* terhadap intensitas penyakit karat kedelai. *Jurnal Agronomi* Vol. 13 No. 2, Juli - Desember 2009,

- Kochman, J. K. 1979. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). Aust. J. Agric. Res. 30:273- 277.
- Lakitan, B. 2002. Dasar-dasar klimatologi. PT Raja Grafindo Persada, cetakan kedua. Jakarta.159 hal.
- Li, S., Moore, W. F., Spinks, B. L., Wells, B. C., Sciumbato, G. L., Robinson, S. J., and Libous-Bailey, L. 2007. Occurrence of Asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* in Mississippi. Online. Plant Health Progress doi:10.1094/PHP-2007-0917-02-BR. [https://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/brief/2007/asr/\[28 Februari 2014\]](https://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/brief/2007/asr/[28 Februari 2014])
- Manengkey, G.S.J dan E. Senewe. 2011. Intensitas dan laju infeksi penyakit karat daun *Uromyces phaseoli* pada tanaman kacang merah. Eugenia. 17 (3): 218-224.
- Marchetti, M. A., Urecker, F. A., and Bromfield, K. R. 1975. Uredial development of *Phakopsora pachyrhizi* in soybeans. Phytopathology 65:822-823.
- Melching, J. S., Dowler, W. M., Koogle, D. L., and Royer, M. H. 1989. Effect of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periodson soybean rust. Plant Dis. 73:117-122.
- Miles, M. R., Frederick, R. D., and Hartman, G. L. 2006. Evaluation of soybean germplasm for resistance to *Phakopsora pachyrhizi*. Plant Health Progress doi:10.1094/PHP-2006-0104-01-RS
- Muhibuddin, A. 2011. Patogen penting pada serangga hama. Kanisius. Malang. 120h.
- Monte, R.M., D.F. Reid, and G.L. Hartman. 2003. Soybean Rust: Is the US soybean crop at risk. <http://www.apsnet.org/online/feature/rust/>. [28 Februari 2014]
- Nirwanto, H. 2007. Pengantar epidemi dan manajemen penyakit tanaman. Penerbit UPN 'Veteran' Jawa Timur. Surabaya.
- Potter, N.N. 1986. Food Science, Fourth Edition Van reinhold Company, New York
- Purnomo, B. 2002. Pengantar epidemiologi penyakit tanaman. (diktat) Faperta Unib. Bengkulu.
- Rossi, R. L. 2003. First report of *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of soybean rust in the province of Misiones, Argentina. Plant Dis. 87:102.
- Rukmana, R. dan Y. Yuniarsih. 1996. Kedelai budidaya dan pascapanen. Kanisius. Yogyakarta

- Rupe, J. and L. Sconyers. 2008. The plant health instructor. doi: 10.1094/phi-i-2008-0401-01
<http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/SoybeanRust.aspx> [28 Februari 2014]
- Sastrahidayat, 1994. Pengantar epidemiologi penyakit tanaman. Universitas Brawijaya Press, Malang, 83h.
- Sastrahidayat, I.R.2013. Epidemiologi kuantitatif penyakit tumbuhan. Universitas Brawijaya Press, Malang, 213h.
- Sastrahidayat, I.R.2013. Epidemiologi teoritis penyakit tumbuhan. Universitas Brawijaya Press, Malang, 175h.
- Semangun, H. 1991. Penyakit-penyakit tanaman di Indonesia. Dalam identifikasi bahan nabati untuk pengendalian penyakit karat pada kedelai, ed. Sumartini dan Yusman, Balai penelitian tanaman kacang-kacangan dan umbi-umbian, Malang, 101h.
- Sinclair dan Shurtleff.1980. Compendium of soybean disease. Dalam indentifikasi bahan nabati untuk pengendalian penyakit karat pada kedelai, ed. Sumartini dan Yusman, Balai penelitian tanaman kacang-kacangan dan umbi-umbian,, Malang, 101h.
- Sinclair. J.B. & P.A.Backman. 1989. Compendium of soybean diseases. The American Phytopathology Society. Inc. Minnesota.
- Sudjono, M.S. 1979. Ekobiologi cendawan karat kedelai dan resistensi varietas kedelai. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor. 60h.
- Sudjono, M.S., M.M. Amir, dan M. Roechan. 1985. Penyakit karat dan penanggulangannya. *Dalam* Somaatmadja, S., M. Ismunadji, Sumarno, M. Syam, S.O. Manurung dan Yuswadi (Ed). Kedelai. Pusat Penelitian Tanaman Pangan, Bogor. hlm. 331–356 h.
- Sumantri dan Yusmani. 2001. Identifikasi bahan nabati untuk pengendalian penyakit karat pada kedelai. Prosiding Kongres Nasional XVI dan seminar Ilmiah Perhimpunan Fitopatologi Indonesia, 22-24 Agustus 2001, Bogor. hlm 101-103
- Sumartini. 2010. Penyakit karat pada kedelai dan cara pengendaliannya yang ramah lingkungan. Jurnal litbang pertanian, 29(3) 2010.
- Tarr, S.A.J.1972. The principles of plant pathology.The Macmillan Press. London.
- Zadoks, J.C. dan R.D. Schein. 1979. Epidemiology and plant disease management.Oxford Univ Press. New York. 427 pp.



LAMPIRAN



Lampiran 1. Hasil sidik ragam

Tabel 1. Hasil sidik ragam intensitas penyakit pada 9 hsi.

| Sk | JK | db | KT | F hit | f tabel 5% |
|-----------|----------|----|----------|----------|------------|
| Perlakuan | 27,73333 | 4 | 6,933333 | 1,083333 | 3,47805 |
| Galat | 64 | 10 | 6,4 | | |
| Total | 91,73333 | 14 | | | |

Tabel 2. Hasil sidik ragam intensitas penyakit pada 12 hsi.

| Sk | JK | db | KT | F hit | f tabel 5% |
|-----------|-------|----|------|-------|------------|
| Perlakuan | 134,4 | 4 | 33,6 | 3,5* | 3,47805 |
| Galat | 96 | 10 | 9,6 | | |
| Total | 230,4 | 14 | | | |

Keterangan : * : berbeda nyata

Tabel 3. Hasil sidik ragam intensitas penyakit pada 15 hsi.

| Sk | JK | db | KT | F hit | f tabel 5% |
|-----------|--------|----|----------|-------|------------|
| Perlakuan | 59,73 | 4 | 14,93333 | 1,56 | 3,47805 |
| Galat | 96 | 10 | 9,6 | | |
| Total | 155,73 | 14 | | | |

Tabel 4. Hasil sidik ragam intensitas penyakit pada 18 hsi.

| Sk | JK | db | KT | F hit | f tabel 5% |
|-----------|--------|----|----------|-------|------------|
| Perlakuan | 81,067 | 4 | 20,26667 | 9,5* | 3,47805 |
| Galat | 21,33 | 10 | 2,133333 | | |
| Total | 102,4 | 14 | | | |

Keterangan : * : berbeda nyata

Tabel 5. Hasil sidik ragam intensitas penyakit pada 21 hsi.

| Sk | JK | db | KT | F hit | f tabel 5% |
|-----------|----------|----|----------|-------|------------|
| Perlakuan | 49,067 | 4 | 12,26667 | 11,5 | 3,47805 |
| Galat | 10,667 | 10 | 1,066667 | | |
| Perlakuan | 59,73333 | 14 | | | |

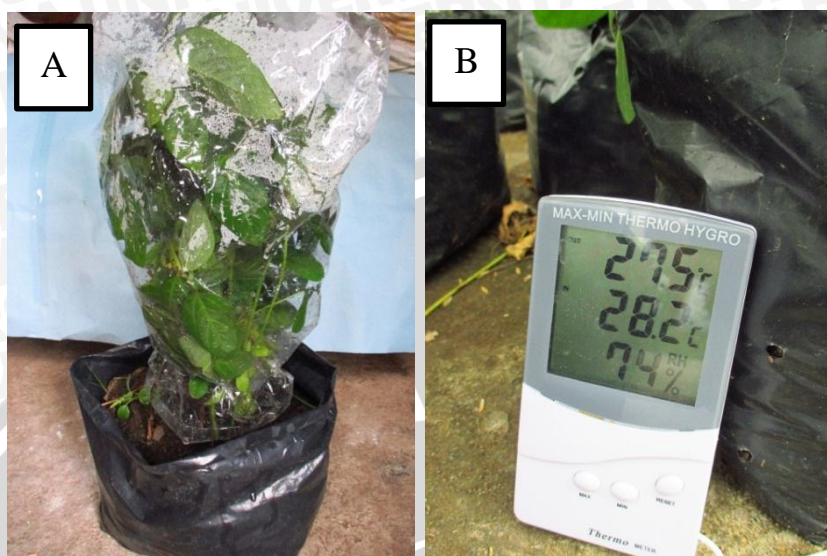
Keterangan : * : berbeda nyata

Tabel 6. Hasil sidik ragam jumlah spora tertangkap perangkap spora

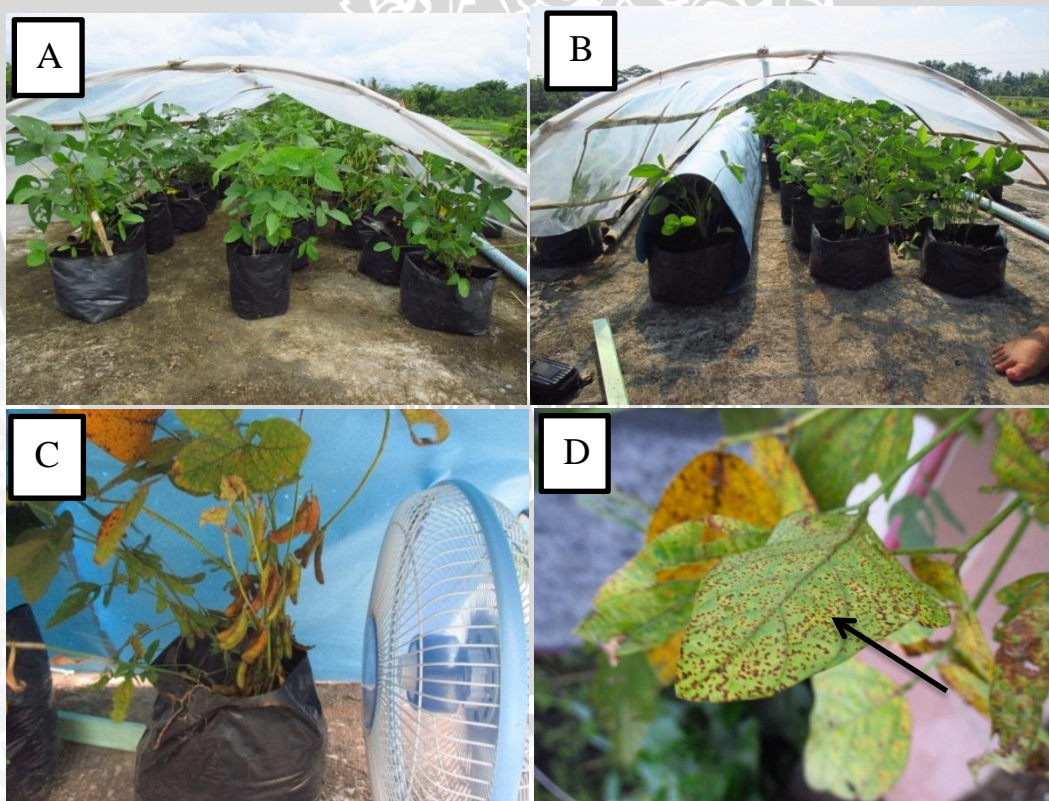
| Sk | JK | db | KT | F hit | f tabel |
|-----------|----------|----|----------|-----------|---------|
| Perlakuan | 2710,267 | 4 | 677,5667 | 9,148065* | 3,47805 |
| Galat | 740,6667 | 10 | 74,06667 | | |
| Total | 3450,933 | 14 | | | |

Keterangan : * : berbeda nyata

Lampiran 2. Gambar dokumentasi penelitian



Gambar 1 : (a) Penyungkupan setelah inokulasi tanaman kedelai sebagai sumber inokulum (b) *Termohygrometer* untuk mengukur suhu dan kelembaban maksimum atau minimum



Gambar 2 : (a) Penempatan tanaman di dalam naungan (b) Terowongan angin pada saat perlakuan (c) Perlakuan hembusan angin dengan kipas angin, tampak samping (d) gejala intensitas karat daun pada tanaman sakit/ sumber inokulum

Lampiran 3. Deskripsi kedelai varietas Burangrang

| | |
|-------------------------|--|
| Dilepas tahun | : 1999 |
| Nomor galur | : C1-I-2/KRP-3 |
| Asal | : Segregat silangan alam, diambil dari tanaman petani di Jember |
| Seleksi | : Seleksi lini murni, tiga generasi asal segregat alamiah |
| Daya hasil | : 1,6–2,5 t/ha |
| Warna hipokotil | : Ungu |
| Warna bulu | : Coklat kekuningan |
| Warna bunga | : Ungu |
| Warna kulit biji | : Kuning |
| Warna hilum | : Terang |
| Bentuk daun | : Oblong, ujung runcing |
| Tipe tumbuh | : Determinit |
| Umur berbunga | : 35 hari |
| Umur polong matang | : 80–82 hari |
| Tinggi tanaman | : 60–70 cm |
| Percabangan | : 1–2 cabang |
| Bobot 100 biji | : 17 g |
| Ukuran biji | : Besar |
| Kandungan protein | : 39% |
| Kandungan minyak | : 20% |
| Kerebahan | : Tidak mudah rebah |
| Ketahanan thd penyakit: | Toleran karat daun |
| Keterangan | : Sesuai untuk bahan baku susu kedelai, tempe, dan tahu |
| Pemulia | : Rodiah S., Ono Sutrisno, Gatot Kustiyono, Sumarno, dan Soegito |
| Benih Penjenis | : Dipertahankan di BPTP Karangploso, Balitkabi, dan Puslitbang Tanaman Pangan Bogor. |
| Sumber | : Deskripsi varietas unggul kedelai 1918-2012, BALITKABI Malang |

Lampiran 4. Cara Menghitung laju infeksi menggunakan *microsoft excel*

Menghitung laju infeksi penyakit bisa menggunakan *microsoft excel*. Perhitungan laju infeksi (r) masing-masing dapat diukur berdasarkan model persamaan menurut Van der Plank (1963) sebagai berikut:

$$r = \frac{1}{t_2 - t_1} + (\logit x_2 - \logit x_1)$$

Keterangan : r adalah laju infeksi, t_1 adalah pengamatan intensitas penyakit awal, t_2 adalah pengamatan intensitas penyakit selanjutnya, x_1 adalah intensitas penyakit pada t_1 , x_2 adalah intensitas penyakit pada t_2 .

Untuk memulai perhitungan menggunakan *excel*, langkah pertama yaitu mengubah hasil intensitas menjadi logaritma (\log), caranya dengan memasukkan rumus =LOG(number) pada lembar kerja *excel*. Untuk *Number* diganti dengan angka intensitas penyakit. Misalnya untuk mengubah intensitas penyakit pada jarak 20 cm saat 9 hsi dengan nilai 8,0 (Tabel 7, diwarnai kuning) menjadi \log , maka tulis rumus =LOG(8,0) kemudian tekan enter dan hasilnya menjadi 0,90 (Tabel 8, diwarnai biru). Lakukan untuk semua data pengamatan intensitas penyakit.

Tabel 7. Data intensitas penyakit sebelum dirubah kedalam bentuk logaritma

| Jarak dari sumber inokulum (cm) | Intensitas Penyakit (%) | | | | |
|---------------------------------|-------------------------|------|-------|-------|------|
| | Waktu pengamatan (hsi) | | | | |
| | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 |
| 20 | 8,0 | 16,0 | 21,33 | 29,33 | 32 |
| 40 | 6,7 | 13,3 | 17,33 | 24 | 28 |
| 60 | 4,0 | 8,0 | 18,67 | 24 | 28 |
| 80 | 5,3 | 9,3 | 16,00 | 24 | 28 |
| 100 | 5,3 | 9,3 | 16,00 | 22,67 | 26,6 |

Tabel 8. Hasil data intensitas penyakit setelah menjadi bentuk logaritma

| Jarak dari sumber inokulum (cm) | Intensitas Penyakit (%) | | | | |
|---------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|
| | Waktu pengamatan (hsi) | | | | |
| | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 |
| 20 | 0,90 | 1,20 | 1,33 | 1,47 | 1,51 |
| 40 | 0,82 | 1,12 | 1,24 | 1,38 | 1,45 |
| 60 | 0,60 | 0,90 | 1,27 | 1,38 | 1,45 |
| 80 | 0,73 | 0,97 | 1,20 | 1,38 | 1,45 |
| 100 | 0,73 | 0,97 | 1,20 | 1,36 | 1,43 |

Setelah mengubah data intensitas penyakit kedalam bentuk logaritma, maka langkah kedua adalah memasukkan hasil konversi data intensitas (log) kedalam persamaan laju infeksi

$$r = \frac{1}{t_2 - t_1} + (\logit x_2 - \logit x_1)$$

Misalnya untuk mengitung laju infeksi saat 9-12 hsi, maka pada t_2-t_1 adalah hasil pengurangan interval waktu pengamatan, maka nilainya adalah 3. $\log x_2$ adalah nilai intensitas hari ke 12 hsi yaitu 1,20. $\log x_1$ adalah nilai intensitas hari ke 9 hsi yaitu 0,90. Sehingga pada *excel* penulisannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} &= 1/3 + (\log x_2 - \log x_1) \\ &= 1/3 + (1,20 - 0,90) \end{aligned}$$

Kemudian tekan tombol enter dan hasilnya muncul 0,63 (Tabel 9, diwarnai biru). Lakukan cara tersebut untuk data laju infeksi lainnya.

Tabel 9. Hasil Perhitungan laju infeksi menggunakan excel

| Jarak dari sumber inokulum (cm) | Laju Infeksi | | | | |
|---------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|--------|
| | Waktu pengamatan (hsi) | | | | |
| | 9-12 | 12-15 | 15-18 | 18-21 | Rerata |
| 20 | 0,63 | 0,46 | 0,47 | 0,37 | 0,48 |
| 40 | 0,63 | 0,45 | 0,47 | 0,40 | 0,49 |
| 60 | 0,63 | 0,70 | 0,44 | 0,40 | 0,54 |
| 80 | 0,58 | 0,57 | 0,51 | 0,40 | 0,51 |
| 100 | 0,58 | 0,57 | 0,48 | 0,40 | 0,51 |

Untuk membahas laju infeksi penyakit, maka cari nilai rerata laju infeksi yang paling besar yang artinya semakin tinggi nilai laju infeksi maka kecepatan infeksi penyakit semakin cepat.