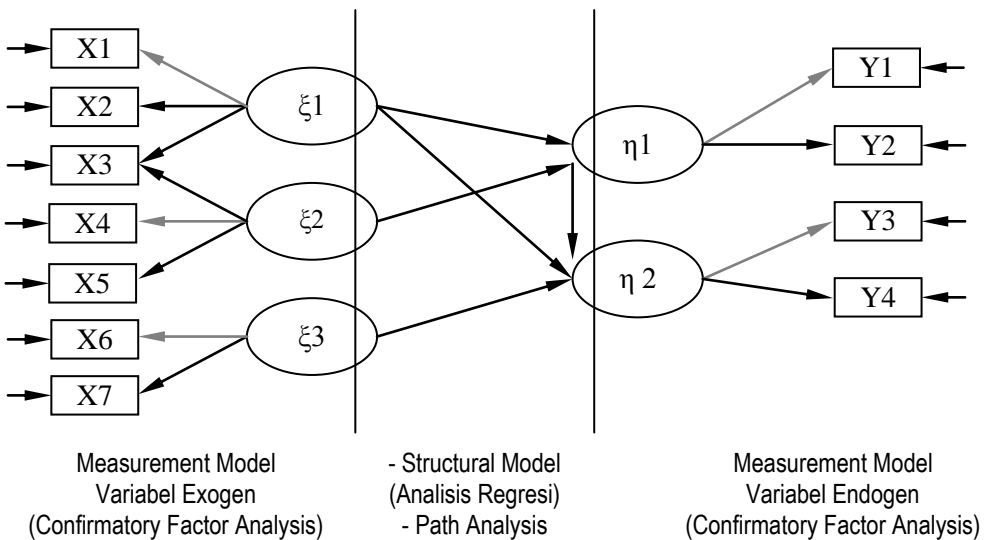


**STRUCTURAL EQUATION MODELING PENYAKIT
BUSUK BATANG (*Sclerotium rolfsii*) PADA KEDELAI:**

Pemahaman Patosistem Melalui Pendekatan
Model Persamaan Berstruktur

I. STRUCTURAL EQUATION MODELING

Structural Equation Modeling (SEM) ada yang menyebutnya dengan *Linear Structural Relation* (LISREL) merupakan pendekatan terintegrasi antara Analisis Faktor, Model Struktural dan Analisis Path. Disisi lain SEM dan LISREL juga merupakan pendekatan yang terintegrasi antara analisis data dan konstruksi konsep. Dengan SEM dapat dilakukan tiga kegiatan secara serempak, yaitu pemeriksaan validitas dan *reliabilitas* instrumen (setara dengan faktor analisis konfirmatori), pengujian model hubungan antar variabel laten (setara dengan Analisis Path) dan mendapatkan model yang bermanfaat untuk prakiraan atau peramalan (setara dengan dengan Model Struktural atau Analisis Regresi). Untuk lebih jelasnya dapat divisualisasikan seperti pada Gambar 4, yang terlihat jelas bahwa SEM merupakan pendekatan terintegrasi antara Measurement Model, Structural Model dan Analisis Path.



Gambar 4. Structural Equation Modeling (SEM) (Solimun, 2002)

1. Model Struktural dan Analisis Path

Tujuan akhir dari SEM pada prinsipnya adalah untuk mendapatkan model struktural. Bilamana pendugaan parameternya didasarkan pada data *input* matrik ragam-peragam (*var-cov matrix*), maka SEM menghasilkan model struktural, bermanfaat untuk prakiraan

(prediksi) atau untuk pembuktian model. Dalam hal ini, SEM setara dengan Analisis Regresi, yang pendugaan parameternya dapat dilakukan dengan *Indirect Least Square* (ILS) atau *Two Stages Least Square* (TSLS) atau pendekatan Model Rekursif.

Sedangkan apabila data *input* berupa matrik korelasi, maka SEM bermanfaat untuk pemeriksaan besar kecilnya pengaruh, baik langsung, tidak langsung maupun pengaruh total variabel bebas (variabel exogen) terhadap variabel tergantung. Oleh karena itu SEM dapat digunakan untuk menentukan variabel yang berpengaruh dominan, sehingga ada yang menyebutnya dengan Analisis Faktor Determinan. Untuk kondisi yang model strukturalnya memenuhi model rekursif, maka SEM setara dengan Analisis Path.

Terdapat kesamaan dan perbedaan antara Analisis Path dengan SEM, yang dapat dirinci sebagai berikut.

Persamaan Analisis Path dan SEM:

- a. Keduanya berkenaan dengan konstruksi model
- b. Pendugaan parameter (koefisien) model berdasarkan data sampel.
- c. Pengujian kesesuaian model dilakukan dengan cara memperbandingkan matriks kovarians hasil dugaan dengan matriks kovarians data observasi.

Perbedaan Analisis Path dan SEM:

1. Analisis Path hanya berkenaan dengan pengujian hubungan kausal antar *variabel latent construct* (atau antar variabel manifes), dan tidak dapat digunakan untuk memeriksa validitas dan *reliabilitas* pengukuran variabel laten berdasarkan variabel manifes. Sedangkan SEM dapat digunakan untuk keduanya.
2. SEM memiliki keterbatasan yang lebih sedikit:
 - a) SEM dapat diterapkan baik pada model rekursif ataupun model resiprokal, sedangkan Analisis Path hanya dapat diterapkan pada model yang hubungan kausalnya satu arah dan memenuhi model rekursif.
 - b) SEM tidak terkendala oleh adanya korelasi antar *error*, sedang dalam Analisis Path antar *error* harus independen.
3. Pendugaan parameter dalam Analisis Path menggunakan *Ordinary Least Square* (OLS) dan dapat dilakukan secara parsial untuk setiap persamaan yang membentuk Model Struktural. Sedangkan dalam SEM pendugaan parameter dilakukan secara serentak untuk seluruh

parameter, dengan metode Kemungkinan Maksimum, *Two Stages Least Square* (TSLS), *Generalized Least Square* (GLS), *Scale Free Least Square* (SFLS) dan lain sebagainya.

4. Data *input* dalam Analisis Path adalah data normal baku (*standarize*), sedangkan pada SEM bisa data mentah atau *standarize*.
5. *Output* Analisis Path hanya faktor determinan, sedangkan *output* SEM selain faktor determinan juga Model Struktural, dan juga model pengukuran.

2. Measurement Model

Kaitannya dengan pembuktian hipotesis penelitian, SEM merupakan salah satu metode analisis yang berkenaan dengan Model Struktural dan Analisis Path, seperti dijelaskan pada uraian sebelumnya. Di samping itu, kaitannya dengan pengumpulan data, SEM berkenaan dengan pemeriksaan seberapa valid dan reliabel instrumen penelitian (berupa kuisioner, dll.). Pendekatan yang digunakan untuk memeriksa hal tersebut di dalam SEM adalah Faktor Analisis Konfirmatori, sehingga di dalam SEM juga tercakup measurement model.

Besar-kecilnya tingkat validitas setiap indikator (variabel manifes) dalam mengukur variabel laten ditunjukkan oleh besar kecilnya loading (λ), pada analisis dengan data *standardized* (*input* matriks korelasi). Dimana semakin besar λ merupakan indikasi bahwa indikator bersangkutan semakin valid sebagai instrumen pengukur variabel laten. Hanya, batasan seberapa besar λ sehingga suatu indikator dikatakan valid, sampai sejauh ini belum ada yang mengemukakannya. Sementara batasan yang dapat digunakan adalah hasil pengujian dengan *t-test*, bilamana hasil pengujian *signifikan* berarti indikator tersebut valid (*software* LISREL menyediakan fasilitas uji ini).

Sebagai pembandingan, metode yang sering digunakan dan juga mudah penerapannya dalam bidang ekonomi, sosial, pendidikan dan psikologi, adalah Korelasi *Product Moment*. Apabila koefisien korelasi antara skor suatu indikator dengan skor total seluruh indikator positif dan lebih besar 0,3 ($r \geq +0,3$), maka instrumen tersebut sudah dianggap valid (validitas kriteria).

Pemeriksaan besar-kecilnya tingkat reliabilitas setiap indikator ditunjukkan oleh nilai *error* (δ untuk variabel exogen dan ϵ untuk variabel endogen), pada analisis dengan *standarized*, *reliabilitas* setiap indikator =

$1 - \delta$ untuk variabel exogen dan $= 1 - \epsilon$ untuk variabel endogen. Semakin kecil nilai *error*, menunjukkan indikator tersebut memiliki *reliabilitas* yang tinggi sebagai instrumen pengukur variabel laten yang bersangkutan. Sama dengan pemeriksaan validitas, sayangnya batasan berapa besar δ dan ϵ sehingga suatu indikator dikatakan reliabel, sampai sejauh ini belum ada yang mengemukakan.

Software LISREL menyediakan fasilitas uji ini, di dalam *output*-nya sudah berupa $1 - \delta$ dan $1 - \epsilon$, sehingga batasan yang dapat digunakan adalah hasil pengujian dengan *t-test*, bilamana *signifikan* berarti indikator tersebut valid. Pada AMOS 4, berupa kuadrat koefisien korelasi multipel (*square multiple correlations*) pada setiap indikator, yaitu besarnya kontribusi pengaruh *error* terhadap setiap indikator. Dengan demikian ukuran *reliabilitas* adalah 1 dikurangi koefisien ini.

Sekedar untuk dapat diperbandingkan, metode yang sering digunakan untuk memeriksa *reliabilitas* instrumen adalah koefisien alpha Cronbach:

$$\alpha = \left\{ \frac{n}{n-1} \right\} \left\{ 1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right\}$$

dalam hal ini : n = besar sampel pada uji coba instrumen

V_i = ragam kelompok indikator ke i , yang panjangnya tak ditentukan

V_t = ragam skor total (perolehan)

α = koefisien *reliabilitas*

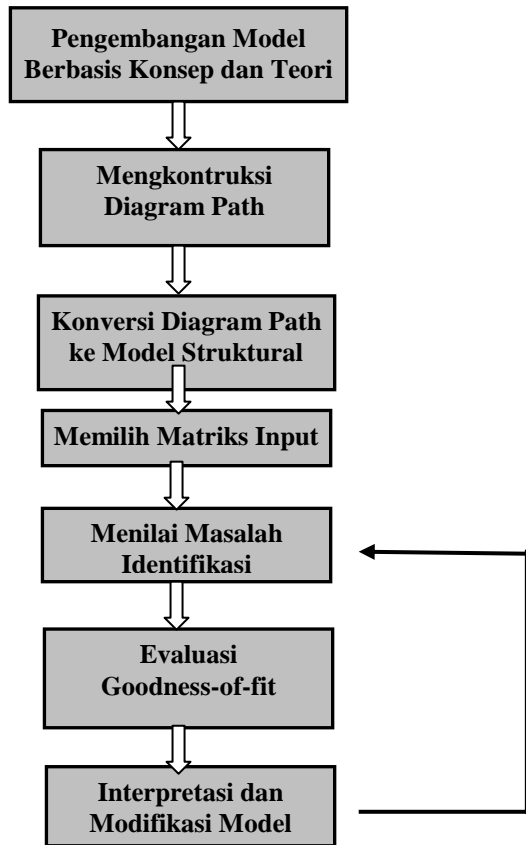
Merujuk pada pendapat Malhotra (1996 *dalam*: Solimun, 2002), suatu instrumen (keseluruhan indikator) dianggap sudah cukup reliabel bilamana $\alpha \geq 0,6$.

3. Langkah-langkah SEM

(a). Pengembangan Model Berbasis Konsep dan Teori

Prinsip di dalam SEM adalah ingin menganalisis hubungan kausal antara variabel exogen dan endogen, di samping itu juga dapat sekaligus untuk memeriksa validitas dan *reliabilitas* instrumen penelitian. Yang dimaksud dengan hubungan kausal adalah bilamana perubahan nilai didalam suatu variabel akan menghasilkan perubahan dalam variabel lain. Secara visual langkah-langkah SEM dapat dilihat pada Gambar 5.

Langkah awal dalam SEM adalah pengembangan Model hipotetik, yaitu suatu model yang mempunyai justifikasi teori dan atau konsep. Setelah itu model tersebut diverifikasi berdasarkan data empirik melalui SEM.



Gambar 5. Langkah-Langkah dalam Structural Equation Modeling (Solimun, 2002)

Dengan melihat beberapa hal di atas, maka peneliti harus berangkat dari suatu permasalahan (permodelan), kemudian menggali landasan teori dan konsep yang berkaitan dengan permasalahan tersebut. Hasil eksplorasi teori dan konsep ini membentuk suatu model hipotetik yang nantinya akan diverifikasi menggunakan SEM berdasarkan data empirik. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa SEM tidak digunakan untuk menghasilkan sebuah model, melainkan digunakan untuk mengkonfirmasi model hipotetik, melalui data empirik. Merujuk pada hal

tersebut ada yang mengatakan bahwa SEM adalah sebuah "*confirmatory technique*".

Namun demikian, bilamana penelitian yang dilakukan bersifat eksploratif, yaitu landasan teori dan konsepnya masih belum tersedia, maka model yang diajukan oleh peneliti dan memperoleh justifikasi empirik menggunakan SEM, tampaknya merupakan suatu konsep baru. Untuk mengembangkan konsep ini menjadi suatu teori diperlukan serial penelitian, sehingga konsep tersebut bersifat konsisten dan berlaku universal.

Sebagai gambaran, misalnya dalam membangun suatu model hipotetik, peneliti telah menemukan landasan teori dan atau konsep untuk beberapa jalur hubungan kausalitas, akan tetapi beberapa jalur hubungan yang lain belum ada landasan teorinya. Dalam hal ini, SEM berguna untuk memberikan justifikasi empirik terhadap jalur hubungan kausalitas yang belum ada landasan konsepnya dan sekaligus menguji jalur hubungan kausalitas yang sudah ada landasan teorinya, sehingga keseluruhan model kausalitas yang dibangun merupakan suatu konsep hasil temuan yang bersifat penyempurnaan (baru).

Model yang dikembangkan dalam SEM merupakan pijakan untuk langkah-langkah berikutnya. Hal yang penting kaitannya dengan pengembangan model hipotetik adalah adanya kesalahan spesifikasi. Kesalahan yang paling kritis dalam pengembangan model adalah adanya kekurangan atau terabaikannya satu atau beberapa variabel prediktif kunci dalam membentuk suatu model, dan kesalahan inilah yang disebut dengan kesalahan spesifikasi.

Implikasi dari kesalahan spesifikasi adalah terjadinya bias pada penilaian yang diberikan pada besar-kecilnya pengaruh sebab-akibat yang dihasilkan oleh sebuah model. Di samping itu sering mengakibatkan proses penghitungan menggunakan *software* komputer yang tidak dapat menghasilkan suatu solusi, misal matriknya tidak definit positif atau terjadi masalah identifikasi yang *un-estimate*, *under-estimate* atau *over-estimate*.

Hal lain yang harus diperhatikan adalah, walaupun tidak ada batasan teoritis mengenai jumlah variabel yang membentuk suatu model dan kompleksitas hubungan kausal yang ada dalam suatu model, tetapi keterbatasan-keterbatasan aplikasi program komputer dan keterlayakan pelaksanaan interpretasi harus diperhatikan. Sebagai pertimbangan praktis, bila jumlah variabel konstruk yang dikembangkan terlalu banyak, maka akan terjadi beberapa kesulitan:

- a) Pelaksanaan analisis, terutama penggambaran diagram path sangat kompleks, kadang-kadang papan penulis di monitor komputer yang disediakan oleh program tidak mencukupi.
- b) Kemungkinan terjadinya proses perhitungan yang tidak menghasilkan solusi sangat besar (matriks tidak definit positif).
- c) Interpretasi hasil analisis menjadi kompleks dan sulit dilakukan, khususnya berkaitan dengan tingkat signifikansi statistik ujinya.

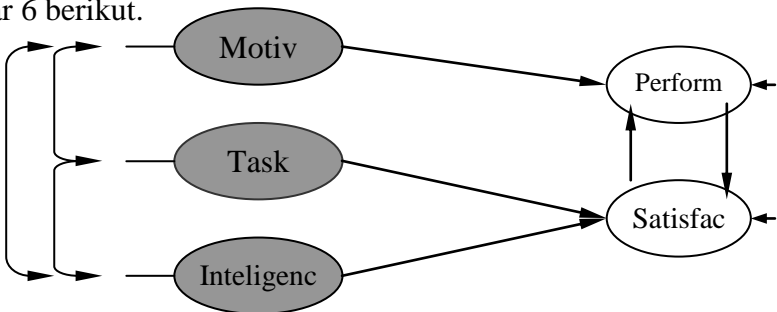
Berikut ini diberikan sebuah ilustrasi landasan teori dan atau konsep berkaitan dengan manajemen sumber daya manusia, yaitu *job satisfaction* dan *performance*, diambil dari Joreskog dan Sorbon (1995).

- (1). *Achievement motivation* karyawan berpengaruh terhadap *performance*
- (2). *Task-specific Self-esteem* dan *Verbal intelligence* berpengaruh terhadap *job satisfaction*.
- (3). *Job satisfaction* berpengaruh terhadap *performance*
- (4). *Performance* juga mempengaruhi *job satisfaction*.

(b) Mengkonstruksi Diagram Path

Diagram Path sangat bermanfaat untuk menunjukkan alur hubungan kausal antar variabel exogen dan endogen. Dimana hubungan-hubungan kausal yang telah ada justifikasi teori dan konsepnya, divisualisasikan ke dalam gambar, sehingga lebih mudah melihatnya dan lebih menarik. Bilamana hubungan-hubungan kausal tersebut ada yang secara konseptual belum mantap, maka dapat dibuat beberapa model, yang kemudian diuji menggunakan SEM, untuk mendapatkan model yang paling tepat. Kriteria *goodness of fit*, seperti *khi kuadrat* dan *AIC (Akaike Information Criteria)*, dapat digunakan untuk pemilihan model yang layak digunakan.

Berdasarkan landasan teori yang telah dijelaskan pada langkah pertama, maka dapat dibuat diagram path untuk Model Struktural seperti pada Gambar 6 berikut.

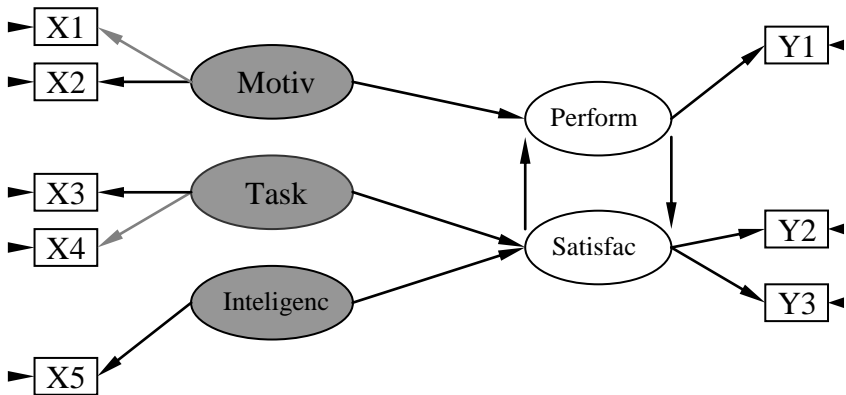


Gambar 6. Diagram Path untuk Model Struktural

Seperti telah dijelaskan dalam Analisis Path, bahwa panah satu arah menunjukkan hubungan pengaruh kausalitas, sedangkan panah bolak-balik menunjukkan adanya korelasi.

Dapat dengan mudah dipahami bahwa variabel motivasi, *task-specific self-esteem*, dan *job satisfaction* merupakan variabel yang bersifat *unobservable*. Untuk mengukur variabel-variabel tersebut dikembangkan indikator sebagai variabel manifest:

- (a) Motivasi : X_1 dan X_2
- (b) Task-specific self-esteem : X_3 dan X_4
- (c) Intelligence : X_5
- (d) Performance : Y_1
- (e) Job satisfaction : Y_2 dan Y_3



Gambar 7. Diagram Path Model Struktural dan Model Pengukuran

Dengan demikian, bilamana measurement model ini dimasukkan ke dalam diagram path, maka diperoleh diagram path model struktural dan model pengukuran secara terintegrasi seperti pada Gambar 7.

(c). Konversi Diagram Path ke dalam Model Struktural

Konversi diagram path, Model Struktural, ke dalam model matematika menjadi sebagai berikut:

$$\eta_1 = \beta_1 \eta_2 + \gamma_2 \xi_2 + \gamma_3 \xi_3 + \zeta_1$$

$$\eta_2 = \beta_2 \eta_1 + \gamma_1 \xi_1 + \zeta_2$$

atau:

$$\text{Job satisfaction} = \beta_1 \text{Performance} + \gamma_2 \text{Task} + \gamma_3 \text{Intelligence} + \zeta_1$$

$$\text{Performance} = \beta_2 \text{Job satisfaction} + \gamma_1 \text{Motivasi} + \zeta_2$$

Konversi diagram path, model pengukuran, ke dalam model matematika menjadi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_1 &= \lambda_1 \xi_1 + \delta_1 & Y_1 &= \lambda_6 \eta_1 + \varepsilon_1 \\ X_2 &= \lambda_2 \xi_1 + \delta_2 & Y_2 &= \lambda_7 \eta_2 + \varepsilon_2 \\ X_3 &= \lambda_3 \xi_2 + \delta_3 & Y_3 &= \lambda_8 \eta_2 + \varepsilon_3 \\ X_4 &= \lambda_4 \xi_2 + \delta_4 \\ X_5 &= \lambda_5 \xi_3 + \delta_5 \end{aligned}$$

(d). Memilih Matriks Input

Data input untuk SEM dapat berupa matriks korelasi atau matriks kovarians. Kalau dalam *Prinsiple Component Analysis* atau *Factor Analysis*, data input berupa matriks korelasi, bilamana data dari variabel yang akan dianalisis memiliki unit satuan dan atau skala yang berbeda-beda, sedangkan digunakan matriks ragam-peragam bilamana data dari variabel yang akan dianalisis memiliki unit satuan skala sama.

Dalam SEM input data berupa matriks kovarian, bilamana tujuan dari analisis adalah pengujian suatu model yang telah mendapatkan justifikasi teori. Sehingga tidak dilakukan interpretasi terhadap besar-kecilnya pengaruh kausalitas pada jalur-jalur yang ada di dalam model. Hal ini sulit dilakukan, mengingat setiap koefisien harus dilakukan interpretasi sesuai dengan unit satuan variabel latennya. Di samping itu, bilamana input data berupa matriks kovarian, maka interpretasi hasil analisis setara dengan pendugaan parameter pada ILS atau TSLS atau Model Rekursif. Dengan demikian hasil analisis SEM mirip dengan Analisis Regresi, dimana model yang diperoleh dapat digunakan untuk penjelasan fenomena yang dikaji atau dapat digunakan untuk kepentingan prediksi (prakiraan).

Sedangkan input data matrik korelasi dapat digunakan bilamana tujuan analisis ingin mendapatkan penjelasan mengenai pola hubungan kausal antar variabel laten. Dengan input data berupa matrik korelasi, peneliti dapat melakukan eksplorasi jalur-jalur mana yang memiliki pengaruh kausalitas lebih dominan dibandingkan jalur lainnya. Demikian juga dapat diketahui variabel eksogen mana yang kontribusi pengaruhnya lebih besar terhadap variabel endogen dibandingkan yang lainnya. Perbandingan ini dapat dilakukan, mengingat dalam proses perhitungan matriks korelasi, semua variabel ditransformasikan ke variabel baku (normal standar) sehingga semuanya tidak memiliki satuan dan mempunyai skala sama (-4 s/d +4).

(e). Menilai Masalah Identifikasi

Permasalahan yang sering muncul dalam Model Struktural adalah proses pendugaan parameter. Bila terjadi *un-identified* atau *under-identified*, maka proses pendugaan parameter tidak mendapatkan solusi. Sebaliknya bilamana terjadi *over-identified* maka proses pendugaan parameter mengalami ketidak-mampuan dan menghasilkan penduga yang unik, sehingga model yang diperoleh tidak dapat dipercaya. Dalam kaitannya dengan aplikasi program komputer, masalah identifikasi menjadi sangat penting. Ketidak-mampuan model menghasilkan identifikasi yang eksak, akan mengakibatkan program komputer tidak mau melanjutkan proses perhitungan.

Gejala-gejala yang muncul akibat adanya masalah identifikasi antara lain dapat menghasilkan hal-hal sebagai berikut:

- (1). Terdapatnya *standar error* dari penduga parameter yang terlalu besar;
- (2). Ketidakmampuan program menyajikan matriks informasi yang seharusnya disajikan;
- (3) Pendugaan parameter tidak dapat diperoleh, misalnya terjadi matriks tidak definit positif.
- (4). Muncul angka-angka aneh, seperti adanya varians *error* yang negatif; dan
- (5). Terjadinya korelasi yang tinggi ($> 0,9$) antar koefisien hasil dugaan.

Pemeriksaan terhadap masalah identifikasi dapat dilakukan sebagai berikut:

- a. Model diduga berulang-ulang, dan setiap kali pendugaan dilakukan dengan "nilai awal" berbeda-beda. Bilamana hasilnya pada setiap pengulangan pendugaan adalah tidak sama, maka merupakan indikasi yang kuat adanya masalah identifikasi.
- b. Lakukan pendugaan terhadap model, kemudian salah satu koefisien hasil dugaan dicatat dan digunakan sebagai nilai yang *fix* (tetap) untuk pendugaan berikutnya. Bila hasil dari pendugaan ulang ini, *overall fit*-nya berbeda terlalu besar dengan sebelumnya, maka dapat diduga terdapat problem identifikasi.

Cara yang dapat ditempuh untuk menanggulangi masalah identifikasi adalah dengan memberikan kendala pada model, salah satunya dengan membuat koefisien model bersifat *fix*. Dengan demikian berarti jumlah koefisien model yang diduga menjadi lebih sedikit. Akan tetapi harus dilakukan dengan sangat hati-hati agar tidak terjadi *over-identified*.

Pada prinsipnya masalah identifikasi ini muncul berkenaan dengan pengembangan model, sehingga bilamana setiap pendugaan parameter muncul masalah identifikasi, maka harus mendapatkan pertimbangan ulang yang cukup tajam berkenaan dengan model yang dikembangkan. Teori dan konsep yang menjadi rujukan pengembangan model hipotetik harus diteliti ulang, sehingga masih dimungkinkan untuk penyempurnaan model, misalnya dengan memperbanyak variabel konstruk (variabel laten).

(f). Evaluasi *Goodness-of-fit*

Sebelum membicarakan *goodness-of-fit* model hasil analisis, untuk mendapatkan model yang valid diperlukan beberapa asumsi. Pada prinsipnya asumsi dalam SEM dapat dipilah menjadi dua, yaitu asumsi yang berkaitan dengan model dan asumsi yang berkaitan dengan pendugaan parameter dan pengujian hipotesis.

Asumsi-asumsi yang berkaitan dengan model di dalam SEM adalah:

- (1) Semua hubungan berbentuk linear; untuk memeriksanya dapat dilakukan dengan membuat diagram pencar (*scatter diagram*).
- (2) Model bersifat aditif; hal ini berkaitan dengan teori dan konsep yang digunakan sebagai landasan pengembangan model hipotetik. Jadi diupayakan secara konseptual dan teoritis tidak terjadi hubungan yang bersifat multiplikatif atau rasional antar variabel exogen.

Asumsi-asumsi yang berkaitan dengan pendugaan parameter dan pengujian hipotesis di dalam SEM adalah:

- (1) Antar unit pengamatan bersifat saling bebas (data independen). Hal ini dapat ditempuh dengan salah satu teknik, yaitu pengambilan sampel dilakukan secara random.
- (2) Beberapa program komputer tidak dapat melakukan perhitungan bilamana terdapat *missing* data.
- (3) Data tidak mengandung pencilan (*outliers*). Pemeriksaan *outliers* dapat dilakukan dengan diagram kotak garis (*box plot*); dimana terdapatnya data (titik) di luar pagar merupakan indikasi bahwa data tersebut adalah *outliers*. Pendekatan yang lain dengan cara membandingkan standar deviasi (SD) dengan mean (\bar{X}), bilamana $SD > \bar{X}$, merupakan indikasi terdapatnya data *outliers*.
- (4) Untuk pendugaan parameter dengan Metode Kemungkinan Maksimum, sampel minimum adalah 100.

(5) Data yang akan dianalisis (variabel laten) menyebar normal (multi normal). Dengan sampel yang besar (100), asumsi ini tidak terlalu kritis, landasannya adalah Dalil Limit Pusat (*Central Limit Theorem*), yaitu bilamana n (sample size) besar, maka statistik dari sampel tersebut akan mendekati distribusi normal, walaupun populasi dari mana sampel tersebut diambil tidak berdistribusi normal.

Secara garis besar uji *goodness of fit* di dalam SEM dapat dipilah menjadi empat hal, yaitu: a) pengujian parameter hasil dugaan, b) uji model overall, c) uji Model Struktural dan d) uji model pengukuran (validitas dan reliabilitas).

a) Pengujian Parameter

Pengujian hipotesis terhadap setiap parameter di dalam SEM dapat dilakukan dengan *t-test*. Pengujian ini dilakukan terhadap:

1. Parameter Lamda (λ); yaitu parameter yang berkenaan dengan pengukuran variabel latent berdasarkan variabel manifest (berkaitan dengan validitas instrumen).
2. Parameter Delta (δ) dan Epsilon (ϵ); yaitu parameter yang berkenaan dengan *error* pada pengukuran variabel latent berdasarkan variabel manifest (berkaitan dengan *reliabilitas* instrumen).
3. Parameter Beta (β); yaitu parameter pengaruh variabel exogen terhadap variabel endogen.
4. Parameter Gamma (γ); yaitu parameter pengaruh variabel endogen terhadap variabel endogen.

Termasuk parameter Psi (ψ), Phi (ϕ), Teta (θ), dan lain sebagainya yang terdapat dalam Model juga dapat diuji menggunakan *t-test*. Hipotesis nol dari *t-test* menyatakan bahwa setiap parameter yang diuji = 0, dan hipotesis alternatif menyatakan setiap parameter yang diuji \neq 0. Kaidah keputusan pengujian hipotesis-hipotesis tersebut sama seperti *t-test* pada analisis regresi atau analisis komparasi, misalnya dengan membandingkan t-hitung dengan t-tabel.

Pengujian parameter Gama dan Beta pada seluruh jalur yang ada dalam model setara dengan *theory trimming* pada Analisis Path.

b) Pengujian Overall Model

Overall Model adalah model di dalam SEM yang melibatkan model struktural dan model pengukuran secara terintegrasi, jadi merupakan keseluruhan model. Model dikatakan baik (fit) bilamana pengembangan

model hipotetik secara konseptual dan teoritis didukung oleh data empirik. Beberapa uji *goodness-of-fit model overall* bersamaan dengan nilai *cut-off*-nya diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Goodness of Fit Model Overall pada SEM

Goodness of Fit	Cut - off	Keterangan
Khi Kuadrat	Nonsignifikan; tergantung α yang digunakan	Digunakan untuk $n = 100$ s/d 200 ; bila model lebih dari satu disarankan untuk memilih yang nilainya kecil (p besar); model baik apabila Khi Kuadrat dengan derajat bebasnya tidak jauh berbeda
RMR	Kecil	Digunakan untuk n besar
RMSEA	$\leq 0,08$	Digunakan untuk n besar
GFI	$\geq 0,90$	Mirip dengan R^2 dalam regresi
AGFI	$\geq 0,90$	Mirip dengan R^2 -adjusted dalam regresi
CFI	$\geq 0,94$	Tidak sensitif terhadap sampel besar
AIC	Kecil	Bila model lebih dari satu disarankan untuk memilih yang nilainya terkecil

c) Pengujian Model Struktural

Untuk mengetahui akurasi Model Struktural dalam kaitannya dengan prediksi yang akan dilakukan dapat diperiksa melalui Koefisien Determinasi Total:

$$R^2 = 1 - \frac{|\psi|}{|cov(\eta)|}$$

Seperti di dalam analisis regresi, nilai R berkisar antara 0 s/d 1 , dan model dikatakan baik bilamana nilainya besar (mendekati 1).

d) Pengujian Model Pengukuran

Model pengukuran yang dimaksud adalah pemeriksaan mengenai reliabilitas dan validitas instrumen. Apabila koefisien korelasi antara skor suatu indikator dengan skor total seluruh indikator lebih besar $0,3$ ($r \geq 0,3$), maka instrumen tersebut dianggap valid. Sedangkan untuk memeriksa

reliabilitas instrumen metode yang sering digunakan adalah koefisien alpha Cronbach. Merujuk pada pendapat Malhotra (1996 dalam: Solimun, 2002), suatu instrumen (keseluruhan indikator) dianggap sudah cukup reliabel bilamana $\alpha \geq 0,6$.

Pemeriksaan besar-kecilnya tingkat reliabilitas setiap indikator dalam SEM ditunjukkan oleh nilai *error* (δ untuk variabel exogen dan ε untuk variabel endogen) pada analisis dengan data *standardized*, reliabilitas tiap indikator = $1 - \delta$ untuk variabel exogen dan = $1 - \varepsilon$ untuk variabel endogen. Semakin kecil nilai *error*, menunjukkan indikator tersebut memiliki reliabilitas yang tinggi sebagai instrumen pengukur variabel laten yang bersangkutan. Besar-kecilnya tingkat validitas setiap indikator (variabel manifest) dalam mengukur variabel laten ditunjukkan oleh besar-kecilnya loading (λ) pada analisis dengan data *standardized*. Dimana semakin besar λ menandakan bahwa indikator bersangkutan semakin valid sebagai instrumen pengukur variabel laten bersangkutan. Sayangnya, batasan berapa besar λ , δ dan ε sehingga suatu indikator dikatakan valid dan reliabel sampai sejauh ini belum ada yang mengemukakannya.

Pada SEM reliabilitas instrumen (keseluruhan indikator) juga dapat diperiksa menggunakan *construct reliability*:

$$\rho_{\eta} = \frac{\left(\sum_{i=1}^p \lambda_{y_i} \right)^2 \text{var}(\eta)}{\left(\sum_{i=1}^p \lambda_{y_i} \right)^2 \text{var}(\eta) + \sum_{i=1}^p \text{var}(\varepsilon_{y_i})}; \lambda_{y_i} = \text{unstandardized weight}$$

Suatu instrumen dikatakan reliabel bilamana $\rho_{\eta} \geq 0,70$.

Hal lain yang dapat digunakan untuk memeriksa reliabilitas instrumen di dalam SEM adalah *average variance extract*:

$$\rho_{vc(\eta)} = \frac{\sum_{i=1}^p \lambda^2_{y_i} \text{var}(\eta)}{\sum_{i=1}^p \lambda^2_{y_i} \text{var}(\eta) + \sum_{i=1}^p \text{var}(\varepsilon_{y_i})}; \lambda_{y_i} = \text{unstandardized weight}$$

Besaran $\rho_{vc(\eta)}$ menunjukkan proporsi varians variabel laten yang dapat dijelaskan oleh variabel manifest (indikator), bilamana $\rho_{vc(\eta)} > 0,50$ berarti varians yang terkandung di dalam variabel laten lebih besar daripada yang berada dalam *error*, sehingga validitas indikator (secara individu) dapat dipertimbangkan.

(g). Interpretasi dan Modifikasi Model

Bilamana model cukup baik, maka langkah berikutnya dalam SEM adalah melakukan interpretasi. Bilamana belum baik, maka perlu diadakan modifikasi. Beberapa program komputer, seperti LISREL dan AMOS, dilengkapi dengan indek modifikasi. Sebuah nilai indek modifikasi menunjukkan bilamana model tersebut dimodifikasi (misalnya ditambah jalur hubungannya atau sebaliknya dihilangkan), maka nilai Khi Kuadrat akan turun sebesar nilai indek tersebut.

Petunjuk praktis yang dapat digunakan adalah bilamana indek modifikasi ≥ 4 , maka jalur hubungan tersebut perlu dipertimbangkan untuk ditambahkan atau dihilangkan, mengingat pengurangan nilai Khi Kuadrat sebesar 4 dianggap cukup bermakna. Namun demikian perlu dicermati, dalam melakukan modifikasi model, hal yang harus dirujuk adalah justifikasi konseptual dan teoritisnya. Bilamana landasan konseptual dan teoritisnya tidak ada, maka pelaksanaan modifikasi model harus dilakukan sangat hati-hati, bila tidak, mungkin akan terjadi keadaan surpurious misalnya frekwensi hujan berpengaruh terhadap banyaknya bayi yang lahir laki-laki.

Pada tahap akhir dari SEM adalah melakukan interpretasi terhadap hasil analisis. Untuk itu, SEM menyediakan dua buah informasi; pertama setara dengan Model Struktural dan kedua sama dengan Analisis Path.

- a. Bilamana pendugaan parameter di dalam SEM menggunakan matriks *input* berupa matriks kovarians, maka hasil dari SEM adalah Model Struktural. Berdasarkan Model Struktural ini, penjelasan terhadap fenomena yang dikaji dan diteliti dapat dilakukan. Seperti di dalam analisis regresi, dengan Model Struktural tersebut, pelaksanaan prediksi variabel endogen dapat juga dilakukan.
- b. Bilamana pendugaan parameter di dalam SEM menggunakan matrik *input* berupa matriks korelasi, maka hasil dari SEM adalah Analisis Path. Interpretasi dapat dilakukan dengan cara melihat pengaruh langsung, pengaruh tak langsung dan pengaruh total. Dengan demikian

analisis SEM bermanfaat sebagai analisis faktor determinan, yaitu penentuan variabel mana yang pengaruhnya dominan. Di samping itu, SEM juga dapat digunakan untuk pengujian suatu model hubungan kausal antar variabel, baik yang bersifat menguji ulang suatu konsep atau teori ataupun pengujian terhadap suatu model yang akan dikembangkan, menggunakan *theory trimming*.

4. Ukuran Sampel

Dalam SEM parameter yang diduga meliputi: (a) parameter pada model pengukuran, (b) parameter pengaruh variabel exogen terhadap variabel endogen, (c) parameter pengaruh antar variabel endogen, (d) parameter korelasi antar variabel exogen, dan (e) parameter *error*. Dengan kata lain, parameter yang diduga cukup banyak, apalagi kalau modelnya kompleks. Oleh karena itu, penerapan SEM dengan aplikasi beberapa program komputer, sangat kritis terhadap pemenuhan besarnya sampel.

Beberapa pedoman penentuan besarnya ukuran sampel diberikan sebagai berikut:

- a) Bila pendugaan parameter menggunakan metode kemungkinan maksimum; besar sampel yang disarankan adalah 100-200; dan minimum absolutnya adalah 50.
- b) Sebanyak 5-10 kali jumlah parameter yang ada di dalam model dan akan diduga.
- c) Sama dengan 5-10 kali jumlah variabel manifest (indikator) dari keseluruhan variabel laten.

5. Pendugaan Parameter Model

Metode pendugaan parameter dalam SEM cukup banyak, misalnya *Maximum Likelihood* (ML), *Partial Least Square* (PLS), *Two Stage Least Square* (TSLS), dan lain sebagainya. Program komputer yang dapat digunakan antara lain AMOS (Oleh Arbuckle), EQS (oleh Bentler), Mx (oleh Neale), dan LISREL (oleh Joreskog).

Metode pendugaan parameter yang tersedia dalam AMOS adalah:

- (a). Unweighted Least Square (ULS),
- (b). Generalized Least Square (GLS),
- (c). Scale Free Least Square (SLS), dan
- (d). Asymtotically Distribution-Free (ADF).

Konsep Dasar Pemanfaatan SEM untuk Busuk Batang Kedelai

Dari studi pustaka yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa ternyata penyakit busuk pangkal batang kedelai yang disebabkan oleh *S. rolfsii* merupakan salah satu kendala produksi kedelai yang perlu diantisipasi sejak dini, sebelum penyakit tersebut menjadi endemik di areal produksi kedelai di Indonesia.

Hal itu mengingat, di satu pihak kedelai merupakan komoditi yang senantiasa mengalami kenaikan permintaan dari tahun ke tahun. Sehingga untuk menghemat devisa maka program ekstensifikasi dan atau intensifikasi merupakan satu-satunya pilihan yang harus dilakukan Pemerintah. Dan di pihak lain *S. rolfsii* adalah patogen tanah yang memiliki kemampuan bertahan di dalam tanah cukup baik, walaupun tidak ada inang, mengingat patogen ini memiliki dua ciri penting, yaitu mampu memproduksi struktur tahan yang disebut sklerotium dan mampu hidup secara saprob pada bahan organik di dalam tanah. Dengan adanya potensi tersebut tersebut, maka seiring dengan semakin luas dan intensifnya pertanian tanaman kedelai, sebagai patogen tanah memiliki kesempatan yang besar untuk berkembang dan menjadi endemik di masa yang akan datang.

Atas dasar pemikiran tersebut, maka diperlukan informasi sebanyak mungkin tentang berbagai faktor yang mempengaruhi epidemi penyakit kedelai oleh *S. rolfsii* ini, yang kemudian dibangun dalam suatu model struktur yang dapat menggambarkan sistem penyakit (patosistem) dari penyakit busuk batang kedelai tersebut. Dengan model yang dibangun tersebut akan dengan mudah dapat dipahami berbagai hal yang diperlukan dalam menentukan strategi pengendalian penyakit ini, khususnya yang sesuai dengan agroekosistem kedelai di Indonesia.

II. IMPLEMENTASI SEM DALAM FITOPATOLOGI

A. Pengamatan Peubah Bebas

1. Kondisi Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di lima lokasi, Lokasi 1 berada di Raci Pasuruan; Lokasi 2 dan Lokasi 3 berada di desa Sambisirah, Kecamatan Wonorejo, Pasuruan; sedang Lokasi 4 dan Lokasi 5 berada di areal kebun bibit Balai Benih Induk Palawija, di desa Bedali Lawang.

Lokasi 1 yang berada di Raci merupakan salah satu sentra produksi kedelai tadah hujan di Kabupaten Pasuruan, dengan jenis Vertisol, kandungan liat 80%, debu 18%, dan pasir sebesar 2 %. Lokasi 2 dan 3, dalam penelitian ini disebut Wonorejo 1 dan Wonorejo 2, merupakan salah satu daerah yang lain dari sentra produksi kedelai di Kabupaten Pasuruan dengan sistem irigasi teknis, dan sebagian besar petani masih melakukan sistem bercocok tanam secara tradisional, seperti tanam sebar, tanpa tugal (lubang tanam) dan olah tanah, bahkan mengandalkan pupuk dari sisa musim tanam sebelumnya. Jenis tanahnya berupa Inceptisol dengan kandungan pasir, debu, liat, masing-masing sebesar 13, 64, 23% untuk Wonorejo 1 dan 13, 62, 25 % untuk Wonorejo 2. Adapun Lokasi 4 dan Lokasi 5, dalam penelitian ini disebut Bedali 1 dan Bedali 2, berada di desa Bedali dengan jenis Alfisol dan tekstur tanah cukup ringan dengan kandungan pasir 27% untuk Bedali 1 dan 49% untuk Bedali 2. Kedua lokasi terakhir ini merupakan prototipe sistem cocok tanam yang cukup baik (Tabel 4).

Tabel 4. Penentuan Skoring Lokasi Sampel Penelitian

Skor (lokasi)	Tempat Sampel	Tekstur (%pasir, debu, liat)	% Bahan Organik	Sistem Pertanian
1	Raci	2, 18, 80	1,48	Tradisional petani, tadah hujan (kdl - kdl -bero)
2	Wonorejo 2	27, 38, 35	2,18	Tradisional petani, irigasi + jarak tanam (sngk -kdl)
3	Wonorejo 1	49, 19, 33	2,78	Tradisional petani, irigasi + jarak tanam (jag-kdl-kdl)
4	Bedali 2	13, 64, 25	1,37	Intensif, tadah hujan (kdl-kdl-kdl)
5	Bedali 1	13, 62, 23	1,32	Intensif, irigasi teknis (kdl-kdl-bero)

Lokasi penelitian di Wonorejo dan Bedali, masing-masing ada dua dengan perbedaan sistem pertanian dan jenis lahan. Wonorejo 2 merupakan lahan pekarangan yang sebelum ditanam kedelai untuk penelitian ini adalah bekas tanaman singkong; sedang Wonorejo 1 merupakan lahan pertanian dengan pola tanam jagung-kedelai - kedelai.

Demikian pula pada lokasi Bedali, Bedali 1 dibedakan dengan Bedali 2 atas dasar sistem irigasi dan pola tanamnya. Bedali 1 merupakan lahan penangkaran benih kedelai dengan irigasi teknis dan pola tanam kedelai-kedelai-kedelai; sedang Bedali 2 merupakan lahan tadah hujan dengan pola tanam kedelai-kedelai-bero. Namun baik Bedali 1 maupun Bedali 2 menggunakan cara bercocok tanam yang sangat intensif baik pengolahan tanah dan pemupukannya.

2. Intensitas Penyakit

Gejala penyakit di lapangan baru muncul pada pengamatan minggu ke dua, dan kemudian berkembang sampai minggu ke 12, walaupun di beberapa lokasi sudah tidak terjadi perkembangan intensitas penyakit pada minggu ke sepuluh. Intensitas tertinggi terjadi di Raci sebesar 12,48 %; kemudian berturut-turut diikuti oleh Wonorejo 2, Wonorejo 1, Bedali 2 dan Bedali 1, masing-masing dengan intensitas 12,28; 9,82; 5,80; dan 3,36%. Wonorejo 2 pada minggu-minggu awal (3-5) menunjukkan perkembangan penyakit yang sangat pesat, bahkan melampaui intensitas penyakit busuk batang kedelai di Raci, namun kemudian hampir mengalami stagnasi (konstan) sejak minggu ke delapan (Tabel 5 dan Gambar 11)

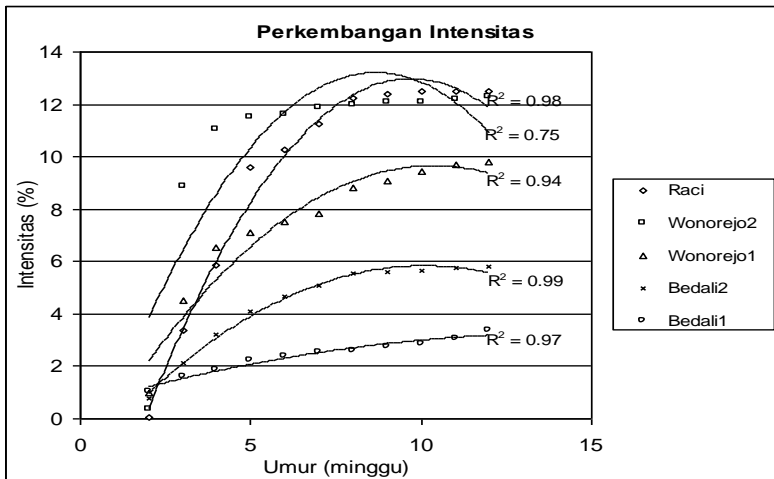
Tabel 5. Pengamatan Perkembangan Intensitas Penyakit Busuk Batang Kedelai yang Disebabkan oleh *S. rolfsii* di Lima Lokasi Penelitian

Lokasi	Intensitas Penyakit (%) pada minggu ke											r (100%/mgg)
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Raci	0,07	3,37	5,84	9,58	10,26	11,25	12,24	12,41	12,48	12,48	12,48	0,011
Wonorejo2	0,34	8,89	11,07	11,52	11,62	11,85	11,97	12,07	12,10	12,19	12,28	0,012
Wonorejo1	0,99	4,53	6,51	7,08	7,50	7,85	8,83	9,08	9,42	9,68	9,82	0,009
Bedali2	0,80	2,15	3,20	4,09	4,65	5,08	5,56	5,59	5,63	5,75	5,80	0,005
Bedali1	1,05	1,61	1,87	2,24	2,41	2,52	2,61	2,76	2,86	3,08	3,36	0,003

Keterangan : r = Laju Infeksi

Apabila dilihat grafik pada Gambar 11, perbedaan yang mencolok antara perkembangan penyakit di lima lokasi penelitian adalah slope perkembangan penyakit antara minggu ke dua sampai minggu ke delapan. Dalam kisaran waktu tersebut tampak bahwa slope perkembangan penyakit ada yang landai sampai dengan yang tajam. Slope perkembangan ini

mencerminkan tingkat kecepatan perkembangan penyakit yang dikenal dengan istilah laju infeksi ($=r$). Slope yang paling landai ditunjukkan oleh grafik perkembangan intensitas penyakit busuk batang kedelai di Bedali 1 dengan nilai $r = 0,003$, sementara slope tertinggi ditunjukkan oleh perkembangan penyakit di Wonorejo 2 dengan nilai $r = 0,012$, yang hampir sama dengan slope perkembangan penyakit di Raci ($r = 0,011$). Sedangkan perkembangan penyakit setelah minggu ke sembilan relatif sama konstan. Gambaran demikian semakin memperkuat pendapat, bahwa penyakit busuk batang kedelai yang disebabkan oleh *S. rolf sii* ini memang lebih tepat dianggap sebagai penyakit pembibitan atau tanaman muda (Henis *et al.*, 1983), walaupun pada kondisi tertentu dan lingkungan yang memungkinkan patogen ini dapat menimbulkan kerusakan pada tanaman dewasa, pada bagian daun, bahkan polong kedelai (Pontjoweni *et al.*, 1997; Takaya & Sudjono, 1987b).

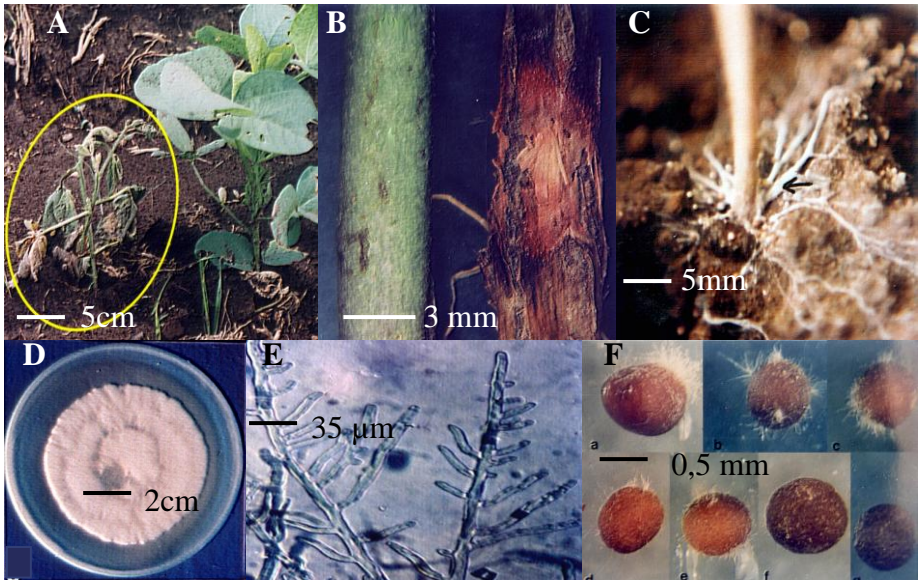


Gambar 11. Grafik Perkembangan Intensitas Penyakit Busuk Batang Kedelai (*S. rolf sii*) di Lima Lokasi Penelitian

3. Identifikasi dan Gejala Penyakit

Pengamatan terhadap batang tanaman yang sakit menunjukkan gejala penyakit berupa nekrosis pada jaringan floem pada pangkal batang. Nekrosis terjadi pada pangkal batang dekat permukaan tanah. Pada

tanaman sakit yang menunjukkan gejala layu, pangkal batangnya berubah warna menjadi coklat kemerahan. Apabila tanaman sakit seperti ini dibiarkan bersama tanahnya dalam kondisi yang lembab, maka dalam waktu 5-6 hari, muncul miselium di permukaan tanah membentuk kipas dan 5-6 hari berikutnya akan muncul sklerotium muda berwarna putih tulang yang kemudian semakin gelap dengan bertambahnya umur, dan akhirnya berwarna coklat kemerahan apabila sklerotium sudah matang (Gambar 12).



Gambar 12. *Sclerotium rolfsii* Penyebab Penyakit Busuk Batang pada Kedelai. Gejala Layu pada Tanaman (a), Nekrosis pada Pangkal Batang (b), Membentuk Miselium pada Tanaman Mati (c), Biakan Murni *S. rolfsii* (d), Miselium (e) dan Sklerotium (f).

4. Faktor Suhu dan Kelembaban

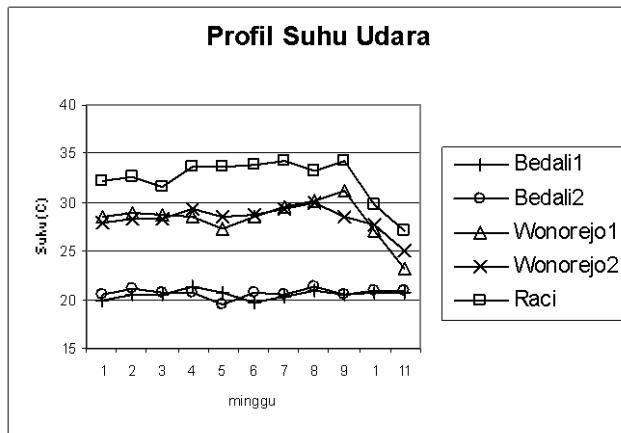
a. Suhu Udara.

Pengamatan terhadap suhu udara di lima lokasi disajikan dalam Tabel 6 dan Gambar 13. Dalam Tabel 6 dan Gambar 13 tersebut menunjukkan bahwa kelima lokasi tersebut memiliki profil suhu yang berbeda, terutama antara Raci, Wonorejo dan Bedali; sedang antara

Bedali 1 dan Bedali 2, dan antara Wonorejo 1 dan Wonorejo 2 memiliki rata-rata suhu yang hampir sama. Raci memiliki rata-rata suhu yang paling tinggi, diikuti oleh Wonorejo dan kemudian paling rendah Bedali .

Tabel 6. Rata-rata Suhu Udara (°C) di Lima Lokasi Penelitian

Bedali1	Bedali2	Wonorejo1	Wonorejo2	Raci
20,00	20,59	28,49	27,90	32,20
20,50	21,09	28,99	28,40	32,70
20,49	20,79	28,69	28,39	31,69
21,36	20,65	28,55	29,26	33,56
20,71	19,49	27,39	28,61	33,67
19,79	20,68	28,58	28,69	33,95
20,25	20,56	29,55	29,25	34,26
20,89	21,36	30,23	29,95	33,23
20,58	20,56	31,26	28,56	34,35
20,82	21,03	27,00	2,80	2,80
20,75	21,01	23,20	25,00	27,00



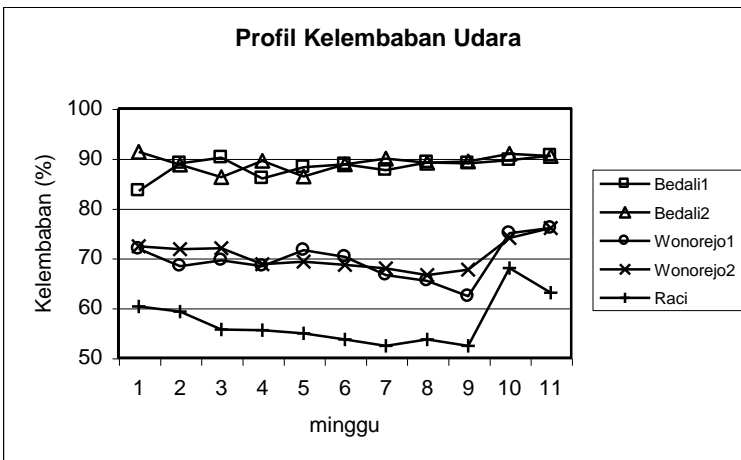
Gambar 13. Profil Suhu Udara di Lima Lokasi Penelitian

b. Kelembaban Udara.

Pengamatan terhadap kelembaban udara di lima lokasi disajikan dalam Tabel 7 dan Gambar 14. Dalam tabel dan gambar tersebut menunjukkan bahwa kelima lokasi tersebut memiliki rata-rata kelembaban udara yang berbeda. Kelembaban udara paling tinggi terdapat di lokasi Bedali 1 dan 2, diikuti oleh lokasi Wonorejo 1 dan 2; sedang Raci menunjukkan kelembaban yang paling rendah.

Tabel 7. Rata-rata Kelembaban Udara (%) di Lima Lokasi Penelitian

Bedali1	Bedali2	Wonorejo1	Wonorejo2	Raci
83,43	91,25	71,83	72,32	60,25
88,96	88,68	68,36	71,76	59,26
90,11	86,18	69,51	71,94	55,67
85,93	89,50	68,33	68,73	55,53
88,18	86,36	71,58	69,23	5485
88,79	88,79	70,19	68,59	53,67
87,64	89,93	66,56	67,89	52,36
89,14	89,07	65,43	66,56	53,67
88,96	89,32	62,35	67,65	52,36
89,57	90,86	75,00	74,00	68,00
90,50	90,43	76,00	76,00	63,00



Gambar 14. Rata-rata Kelembaban Udara di Lima Lokasi Penelitian

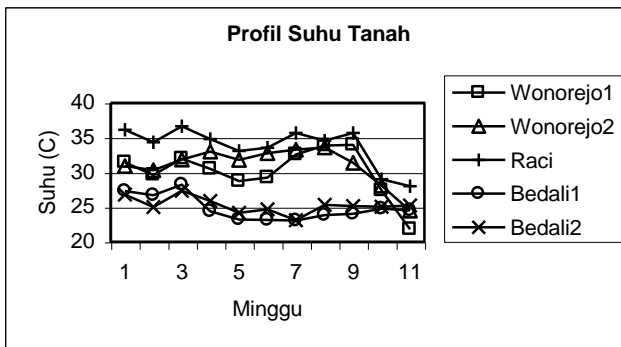
c. Suhu Tanah.

Pengamatan terhadap suhu tanah di lima lokasi disajikan dalam Tabel 8 dan Gambar 15. Dalam Tabel dan Gambar tersebut menunjukkan bahwa kelima lokasi tersebut memiliki profil suhu tanah yang berbeda, terutama antara Raci, Wonorejo dan Bedali; sedang antara Bedali 1 dan Bedali 2, dan antara Wonorejo 1 dan Wonorejo 2 hampir

sama. Suhu tanah tertinggi selama penelitian ditunjukkan oleh lokasi Raci, kemudian diikuti oleh Wonorejo dan paling rendah adalah suhu rata-rata Bedali.

Tabel 8. Pengamatan Suhu Tanah ($^{\circ}\text{C}$) di Lima Lokasi Penelitian

Wonorejo1	Wonorejo2	Raci	Bedali1	Bedali2
31,40	30,90	36,10	27,30	26,80
29,60	30,28	34,30	26,68	25,00
31,95	31,83	36,65	28,23	27,35
30,48	33,38	34,78	24,38	25,88
28,75	31,8	33,05	23,20	24,15
29,25	32,73	33,55	23,13	24,65
32,56	33,26	35,67	23,03	23,10
33,87	33,59	34,56	23,85	25,33
33,97	31,35	35,67	24,00	25,13
2,40	28,10	29,00	24,75	25,03
21,80	24,50	28,00	24,53	25,20



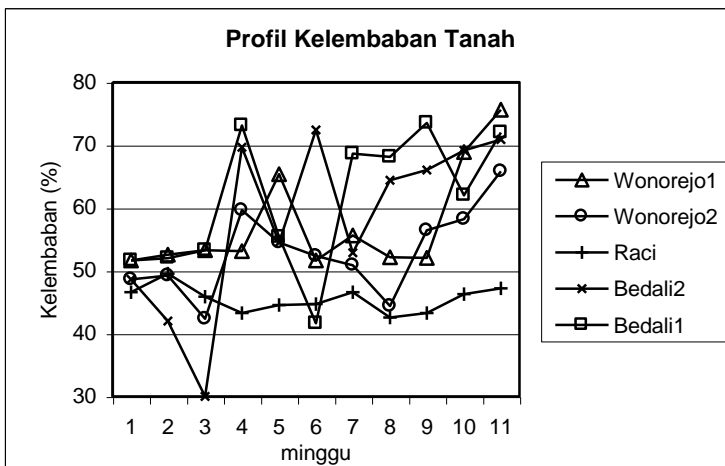
Gambar 15. Rata-rata Suhu Tanah di Lima Lokasi Penelitian

d. Kelembaban Tanah.

Pengamatan terhadap kelembaban tanah di lima lokasi disajikan dalam Tabel 9 dan Gambar 16. Dalam tabel dan gambar tersebut menunjukkan bahwa kelima lokasi tersebut memiliki rata-rata kelembaban udara dengan fluktuasi yang cukup tinggi, sehingga antara kelima lokasi memiliki rata-rata kelembaban tanah yang hampir sama dan sulit untuk dikelompokkan.

Tabel 9. Rata-rata Kelembaban Tanah (%) di Lima Lokasi Penelitian

Wonorejo1	Wonorejo2	Raci	Bedali2	Bedali1
51,62	48,62	46,59	48,63	51,63
52,56	49,25	49,56	42,00	52,00
53,25	42,37	45,89	30,00	53,25
53,12	59,62	43,27	69,63	73,13
65,37	54,50	44,56	54,50	55,38
51,62	52,37	44,67	72,38	41,63
55,62	50,87	46,58	52,88	68,63
52,12	44,37	42,57	64,38	68,13
52,05	56,45	43,25	66,00	73,50
68,90	58,20	46,30	69,13	62,00
75,60	65,80	47,20	70,88	72,00



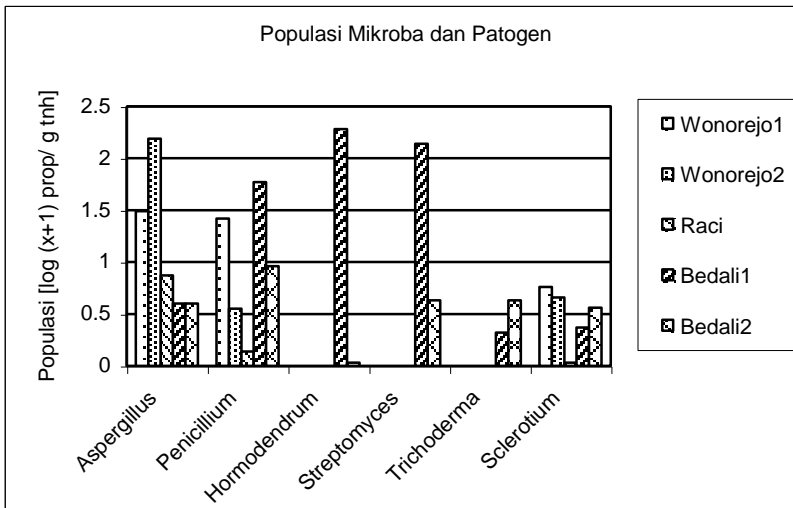
Gambar 16. Rata-rata Kelembaban Tanah di Lima Lokasi Penelitian

5. Faktor Mikroba dan Patogen.

Pengamatan terhadap populasi jamur tanah diperoleh keragaman populasi jamur seperti disajikan dalam Tabel 10 dan Gambar 17. Dari Tabel 10 dan Gambar 17 terlihat bahwa keragaman jamur tanah didominasi oleh *Aspergillus* sp. dan *Penicillium* sp. yang muncul di semua lokasi dengan populasi yang relatif tinggi.

Tabel 10. Populasi Mikroba Tanah dan *S. rolfsii* ($\log(x+1)$ propagul / g tanah)

Mikroba/patogen	Wonorejo1	Wonorejo2	Raci	Bedali1	Bedali2
Aspergillus	1,49	2,19	0,87	0,60	0,60
Penicillium	1,42	0,55	0,14	1,77	0,96
Hormodendrum	0	0	0	2,28	0,03
Streptomyces	0	0	0	2,14	0,63
Trichoderma	0	0	0	0,32	0,63
Sclerotium	0,76	0,66	0,03	0,37	0,56



Gambar 17. Keragaman Populasi Jamur Tanah dan Patogen Busuk Batang di Lima Lokasi Penelitian.

Sebaliknya *Trichoderma* sp., jamur saprob yang diketahui luas sebagai antagonis terhadap berbagai jamur patogen, dan juga *Hormodendrum* sp. hanya muncul di Bedali 1 dan 2. Sedang populasi patogen ternyata selalu lebih rendah dibanding populasi jamur saprob pada semua lokasi.

Bila dihubungkan dengan kejadian penyakit di lima lokasi penelitian, ternyata Bedali 1 dan Bedali 2 menunjukkan intensitas yang paling rendah dan memiliki laju infeksi (= r) yang paling rendah juga. Diduga hal tersebut terkait dengan adanya populasi *Trichoderma* sp. dan *Streptomyces* sp, yang cukup tinggi di kedua lokasi tersebut dan keduanya tidak terdapat baik di

Wonorejo 1, Wonorejo 2, maupun Raci. Seperti diketahui, terutama *Trichoderma* sp. dan *Streptomyces* sp. merupakan kelompok jamur yang dikenal memiliki daya antagonisme yang cukup baik (Deshpade *et al.*, 1992; Henis, Adams, Lewis, 1983; Liu, Anderson, Kinkel, 1995; Papavizas, 1985; Rodriguez-Kabana *et al.*, 1978; Wokocho *et al.*, 1986)

B. Analisis Model

1. Uji Model

Data input berupa hasil pengamatan data variabel dianalisis menggunakan beberapa skenario model struktur alur penyakit busuk batang (Gambar lampiran 1 sampai dengan Gambar lampiran 7). Hasil analisis terhadap beberapa skenario model yang dibangun menghasilkan nilai GFI yang bervariasi (Tabel 11). Kajian atas model yang dihasilkan tersebut yang dilakukan atas dasar nilai GFI dan nilai koefisien regresi, ternyata hanya Model 7 yang memenuhi kriteria hipotesis maupun teori penyakit. Ini berarti skenario model struktural 1 sampai 6 ditolak.

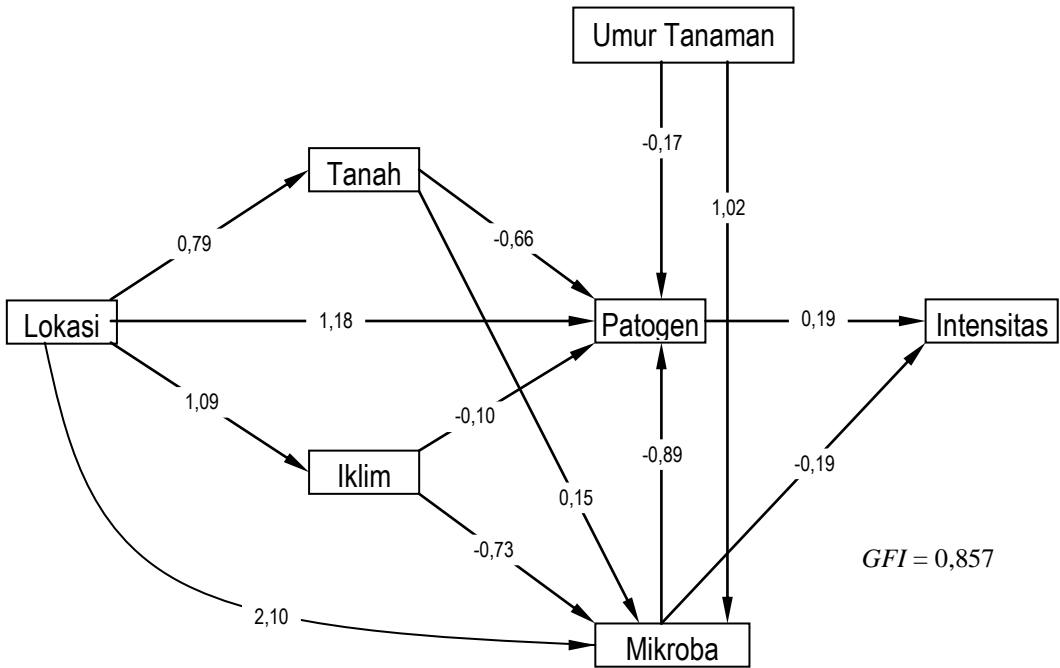
Di samping koefisien regresi yang dihasilkan dalam model Gambar 18 sudah sesuai dengan teori, juga memberikan nilai GFI sudah mendekati 0,9. Oleh karena itu model tersebut dapat diterima dan selanjutnya dilakukan interpretasi untuk menjelaskan sistem yang terjadi pada penyakit busuk batang kedelai yang disebabkan oleh *S. rolf sii*.

Untuk melihat validitas model pada Gambar 18 tersebut, dapat dipelajari dari beberapa model skenario yang telah diuji dalam analisis model, misalnya model hipotetik 4, 5, dan 6 (Gambar lampiran 4, 5, dan 6).

Tabel 11. Nilai *Goodness of Fit* Hasil Analisis Model Hipotetik

Kesimpulan	Nilai Goodness of fit (GFI) *)	Model Hipotetik	Skenario
Ditolak	0,387	Model 1 (Lampiran 1)	I
Ditolak	0,465	Model 2 (Lampiran 2)	II
Ditolak	0,543	Model 3 (Lampiran 3)	III
Ditolak	0,392	Model 4 (Lampiran 4)	IV
Ditolak	0,429	Model 5 (Lampiran 5)	V
Ditolak	0,569	Model 6 (Lampiran 6)	VI
Dapat diterima	0,857	Model 7 (lampiran 7)	VII

*) Nilai kritis GFI $\geq 0,90$



Gambar 18. Model Jalur Pengaruh Menuju Intensitas Penyakit *S. rolfsii* Sacc. pada Kedelai.

Perbedaan antara model hipotetik 7 seperti pada Gambar 18 dengan model hipotetik 4, 5, dan 6 dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada model hipotetik 4 diasumsikan bahwa hubungan antara lokasi dengan tanah dan lokasi dengan iklim merupakan hubungan timbal balik (korelasi), sehingga diberi tanda panah bolak-balik. Pada model hipotetik 5 diasumsikan antara lokasi dengan tanah dan lokasi dengan iklim tidak terdapat hubungan, sehingga tidak diberi tanda panah. Sedang pada model hipotetik 6 diasumsikan umur tanaman memiliki pengaruh langsung terhadap intensitas.

Ternyata apabila hanya dilihat dari koefisien regresi dari model-model hipotetik 4, 5 dan 6 tersebut, maka semuanya sudah tidak ada yang memperlihatkan kejanggalan secara teori, bahkan nyaris sama dengan yang dihasilkan oleh model hipotetik 7 (Gambar 18); namun model-model hipotetik tersebut ternyata berdasarkan hasil analisis kebaikan model, menghasilkan nilai GFI yang sangat rendah (sekitar 0,5 ke bawah). Oleh

karenanya model-model tersebut tetap ditolak karena secara statistika tidak dapat dipertanggung-jawabkan.

2. Interpretasi Model

Dari model yang dihasilkan seperti pada Gambar 18 tersebut ternyata didapatkan 11 jalur pengaruh menuju intensitas penyakit busuk batang pada kedelai yang disebabkan oleh *S. rolf sii* (Tabel 12).

Sebanyak tujuh jalur pengaruh terjadi melalui patogen dan empat jalur sisanya melalui mikroba. Mikroba, di samping berpengaruh langsung terhadap laju perkembangan intensitas, juga mempunyai pengaruh tidak langsung melalui patogen.

Dengan didapatkannya model yang memiliki 11 jalur menuju intensitas penyakit tersebut maka pertanyaan-pertanyaan yang menyelimuti konsep segi empat penyakit tular tanah selama ini menjadi terjawab. Selama ini fenomena penyakit tular tanah hanya dapat digambarkan dalam bentuk struktur segi empat penyakit. Sebagai contoh, Kerr (1980) menggambar-kan interaksi yang terjadi melibatkan empat faktor, yaitu **patogen, tanaman, tanah, dan mikroorganisme** membentuk struktur segi empat yang satu sama lain saling berinteraksi.

Tabel 12. Sebelas Jalur Alternatif Menuju Intensitas

Jalur	Lokasi	Tanah	Iklim	Tanaman	Mikroba	Patogen	Intensitas
Jalur 1	Lokasi	→ Tanah			→ Mikroba	→ Patogen	→ Intensitas
Jalur 2	Lokasi	→ Tanah			→ Mikroba		→ Intensitas
Jalur 3	Lokasi	→ Tanah				→ Patogen	→ Intensitas
Jalur 4	Lokasi		→ Iklim		→ Mikroba	→ Patogen	→ Intensitas
Jalur 5	Lokasi		→ Iklim		→ Mikroba		→ Intensitas
Jalur 6	Lokasi		→ Iklim			→ Patogen	→ Intensitas
Jalur 7	Lokasi				→ Mikroba	→ Patogen	→ Intensitas
Jalur 8	Lokasi				→ Mikroba		→ Intensitas
Jalur 9	Lokasi					→ Patogen	→ Intensitas
Jalur 10				Tanaman	→ Mikroba	→ Patogen	→ Intensitas
Jalur 11				Tanaman	→ Mikroba		→ Intensitas

Dari model tersebut dapat dijelaskan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi timbulnya penyakit busuk batang *S. rolf sii* pada kedelai dapat dibedakan menjadi dua kelompok. Pertama adalah faktor abiotik yang terdiri dari fisik kimia tanah, yang dalam penelitian ini diwakili oleh indikator tekstur tanah (kandungan pasir, debu, liat), kandungan bahan organik, dan kandungan N, P, K total, dan dalam diagram ditulis dengan

simbol **tanah**; komponen cuaca atau iklim yang dalam penelitian ini diwakili oleh indikator suhu udara dan tanah, kelembaban udara dan tanah, dan dalam diagram ditulis dengan simbol **iklim**; serta **lokasi** tempat tanaman kedelai ditanam. Kedua adalah faktor biotik yang meliputi **tanaman** yang dalam penelitian ini diwakili oleh indikator umur, **patogen** yang dalam penelitian ini diwakili oleh indikator populasi *S. rolfii* per gram tanah, serta **mikroba** tanah yang dalam penelitian ini diwakili oleh indikator populasi jamur saprob per gram tanah.

a. Faktor Lokasi dan Kesuburan Lahan.

Faktor lokasi dalam penelitian ini dikategorikan atas dasar tanah berat, sedang, dan ringan serta sistem pertanian tradisional petani dan intensif, yang kemudian diberi skor 1 sampai dengan 5 (Tabel 4 halaman 55).

Lokasi tidak mempunyai pengaruh langsung pada laju perkembangan intensitas, tapi pengaruhnya melalui tanah dengan koefisien regresi sebesar 0,79 dan patogen sebesar -0,66; melalui patogen sebesar 1,18; melalui mikroba sebesar 2,10; serta melalui iklim sebesar 1,10 dan mikroba sebesar -0,73 (Gambar 18).

Pengaruh lokasi terhadap tanah dan komponen cuaca sebenarnya tidak perlu dipandang sebagai hubungan regresi, namun lebih sebagai bentuk korelasi positif. Hal itu menunjukkan bahwa penentuan skoring lokasi yang telah dibuat sesuai dengan deskripsi yang mencirikan setiap lokasi seperti yang telah ditetapkan pada Tabel 4 tersebut.

Pengaruh lokasi yang perlu diperhatikan adalah terhadap patogen dan mikroba, yang ternyata sama-sama positif dengan nilai koefisien regresi masing-masing sebesar 1,18 dan 2,10. Hal itu menunjukkan bahwa semakin tinggi skor lokasi (semakin ringan jenis tanah, semakin subur, atau semakin intensif sistem pertanian kedelai), maka akan semakin dapat meningkatkan populasi patogen maupun populasi mikroba tanah.

Kesuburan tanah di samping ditentukan oleh sifat fisik tanah, juga kandungan hara tanah, terutama kandungan bahan organik. Tekstur tanah yang ringan dengan kandungan pasir yang cukup tinggi atau semakin menurunnya kandungan liat, menyebabkan terjadinya banyak pori dalam tanah (Supardi, 1980). Kondisi tersebut memberikan habitat yang baik bagi mikroba, karena di samping memberikan ruang untuk tinggal, juga memungkinkan mikroba dapat melakukan respirasi dengan lebih baik. Demikian pula pada tanah subur biasanya mempunyai kandungan bahan

organik yang cukup tinggi. Hal itu akan memberikan sumber energi bagi kehidupan mikroba di dalam tanah (Schippers, Bakker, Bakker, 1987).

Dalam perkembangan kosep pengendalian penyakit saat ini penambahan beberapa jenis bahan organik ke dalam tanah menjadi salah satu strategi untuk meningkatkan aktivitas antagonisme terhadap patogen di dalam tanah (Jones, Pettit, Taber, 1984; Lewis & Papavizas, 1984). Berbagai bahan organik telah dicoba oleh beberapa peneliti untuk dibenamkan ke dalam tanah dengan maksud untuk memicu dan meningkatkan intensitas antagonisme dari mikroba saprob yang ada di dalam tanah terhadap patogen tanaman. Lewis & Papavizas (1984) menambahkan sekam padi ke dalam tanah dengan dosis 0,01% sampai 1%, ternyata dapat meningkatkan propagul *Trichoderma harzianum* dari sekitar 10^2 propagul per g tanah menjadi 10^9 propagul per g tanah. Papavizas (1985) mengemukakan bahwa *Trichoderma* dan *Gliocladium* merupakan kelompok antagonis yang memiliki potensi sangat besar untuk digunakan sebagai agens pengendalian hayati patogen tanah. Namun suatu hal yang perlu diperhatikan untuk mendukung hal itu adalah dinamika populasinya, yang ternyata sangat tergantung kepada kandungan bahan organik di dalam tanah. Lebih jauh Hoitink & Fahy (1986) mengemukakan bahwa mempertimbangkan keberadaan kompos merupakan strategi dasar dalam pengendalian hayati patogen tanah. Dalam rangka memanfaatkan potensi tersebut Davis *et al.* (1996) melakukan penambahan bahan organik berupa pupuk hijau; yang ternyata dapat mengurangi kejadian penyakit layu *Verticillium* pada kentang secara signifikan. Kompos ternyata tidak hanya berperan langsung terhadap interaksi patogen-antagonis. Hal itu dikemukakan oleh Zang, Dick, Hoitink (1996) bahwa pemberian campuran kompos ternyata secara sistemik dapat menginduksi ketahanan ketimun terhadap busuk akar *Pythium*, sehingga dapat mengurangi kejadian penyakit tersebut secara signifikan.

Hasil pengamatan pada percobaan di rumahkaca menunjukkan bahwa penambahan 30 g tepung daun cengkeh per kilogram tanah mampu menekan kejadian penyakit busuk batang *S. rolfsii* pada kedelai sampai tinggal 9,73 % dengan efektivitas pengendalian mencapai 83,08 % (Tabel 13 dan Gambar 19).

Tabel 13. Rata-rata Intensitas Serangan dan Efektivitas Pengendalian Penyakit Busuk Batang Kedelai (*S. rolfsii*) pada Berbagai Perlakuan Konsentrasi Penambahan Tepung Daun Cengkeh di Rumah Kaca.

Perlakuan	Rata-rata Intensitas Serangan (%)	Efektivitas Pengendalian (%)
Kontrol	57,49 a	0,00
10 g / kg tanah	20,28 b	64,72
20 g / kg tanah	16,81 b	70,76
30 g / kg tanah	9,73 b	83,08

Keterangan: Angka-angka yang didampingi oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNT ($p = 0,05$)

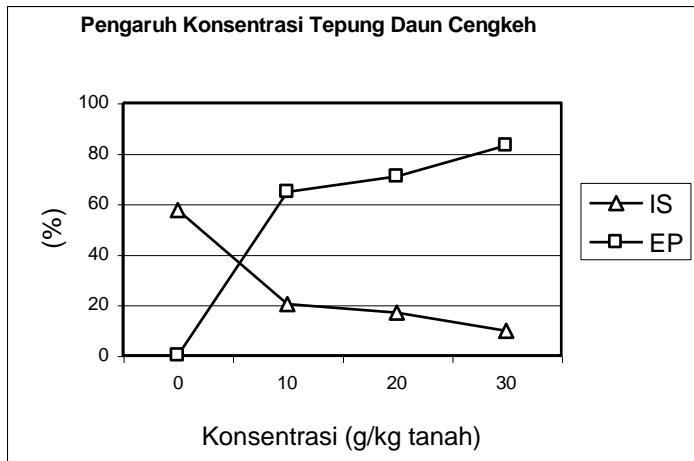
Pada Tabel 13 dan juga Gambar 19 terlihat bahwa ternyata pemberian tepung daun cengkeh ke dalam tanah pada dosis terendah 10 g per kg tanah telah dapat menekan kejadian penyakit busuk batang kedelai secara nyata. Bahkan pada dosis 30 g per kg tanah kejadian penyakit menjadi sangat berkurang sekali. Nampaknya tepung daun cengkeh ini, di samping dapat menjadi sumber energi berupa bahan organik bagi kebanyakan mikroba di dalam tanah, ternyata memiliki pengaruh 'antifungal' terhadap *S. rolfsii*. Hal itu terbukti setelah dilakukan pengujian dengan cara teknik peracunan media tumbuh PDA. Setiap peningkatan konsentrasi tepung daun cengkeh dapat menyebabkan penurunan diameter koloni, produksi dan perkecambahan sklerotium, serta biomas *S. rolfsii* secara signifikan (Tabel 14).

Tabel 14. Pengaruh Konsentrasi Tepung Daun Cengkeh (=TDC) terhadap Diameter Koloni, Produksi dan Perkecambahan Sklerotium, serta Biomas *S. rolfsii* di Laboratorium.

Konsentrasi TDC (g/l PDA)	Diameter Koloni (cm)	Produksi Sklerotium (butir)	Perkecambahan Sklerotium (%)	Biomass (mg)
0	9,00 a	388 a	97,5 a	155,2 a
1,0	7,29 b	177 bc	50,0 b	59,9 ab
2,0	5,93 b	111 c	42,5 bc	32,9 ab
4,0	4,16 c	33 d	20,0 c	25,7 bc
5,0	0,50 d	0 e	-	0,0 d

Keterangan: Angka-angka yang didampingi oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNT ($p = 0,05$)

Dari berbagai fakta yang dikemukakan tersebut, semakin memperkuat hasil penelitian ini bahwa lokasi, yang mencerminkan gradasi tingkat kesuburan dan intensifikasi pertanian, sama-sama berpengaruh positif terhadap patogen dan mikroba tanah.



Gambar 19. Pengaruh Penambahan Tepung Daun Cengkeh terhadap Intensitas Penyakit dan Efektivitas Pengendalian Penyakit Busuk Batang Kedelai *S. rolfsii* (IS= intensitas serangan; EP = efektivitas pengendalian).

Namun apabila dilihat dari nilai koefisien regresinya, ternyata mikroba memiliki koefisien regresi ($= 2,10$) yang lebih besar dibanding dengan koefisien regresi patogen ($=1,18$). Artinya dengan peningkatan kesuburan tanah dan intensifikasi pertanian akan menyebabkan terjadinya peningkatan populasi mikroba jauh lebih besar (hampir dua kali lipat) dibanding dengan peningkatan populasi patogen. Kondisi demikian sudah barang tentu akan menyebabkan rizosfer akan didominasi oleh mikroba. Dan apabila hal itu terjadi maka akan menyebabkan pertumbuhan patogen pada akhirnya akan tertekan. Hasil ini ternyata masih tetap mendukung konsep pengendalian yang selama ini berlaku, yaitu bahwa intensifikasi pertanian dalam arti bercocok tanam yang baik merupakan salah satu cara pengendalian penyakit.

Hasil penelitian percobaan di rumah kaca dan laboratorium seperti disajikan dalam Tabel 13 dan Tabel 14 menunjukkan bahwa bahan organik yang berupa tepung daun cengkeh dapat menekan perkembangan *S. rolfsii* dan mengendalikan penyakit busuk batang pada kedelai, dengan efektivitas

pengendalian di atas 80%. Oleh karena itu dapat dipahami apabila koefisien regresi dalam model yang dihasilkan dalam penelitian ini lebih besar pada mikroba dibanding dengan koefisien regresi pada patogen.

Secara umum bahan organik memang menjadi sumber energi utama untuk kehidupan berbagai macam mikroorganisme di dalam tanah, termasuk di dalamnya patogen tanaman. Namun tidak setiap jenis bahan organik dapat dimanfaatkan oleh setiap mikroorganisme di dalam tanah. Patogen tanah adalah sekelompok kecil dari berbagai macam mikroorganisme di dalam tanah yang jumlah dan jenisnya sangat beragam. Sehingga apabila di dalam suatu ekosistem tanah terdapat atau ditambahkan suatu jenis bahan organik tertentu, maka kelompok mikroba saprob lebih berpeluang untuk memenangkan kompetisi untuk mendapatkan bahan organik tersebut dibanding dengan kelompok patogen.

Oleh karena itu sangat mudah dimengerti apabila koefisien regresi mikroba yang dihasilkan oleh model dalam penelitian ini memiliki nilai yang lebih besar dibanding dengan koefisien regresi patogen. Karena setiap terjadi peningkatan kesuburan tanah, yang salah satu parameternya adalah tingginya kandungan bahan organik, maka rizosfer akan didominasi oleh mikroba tanah, sehingga pada akhirnya patogen akan tertekan.

b. Faktor Tanah

Faktor tanah yang diamati meliputi tekstur tanah, kadar bahan organik, dan kandungan NPK tanah total. Faktor tanah ini ternyata berpengaruh positif baik terhadap patogen maupun mikroba, dengan koefisien regresi masing-masing sebesar 0,66 dan 0,15. Dengan demikian faktor tanah merupakan faktor yang kondusif baik bagi patogen maupun mikroba tanah. Hal itu dapat dipahami mengingat tanah menjadi substrat yang berfungsi sebagai tempat hidup sekaligus sebagai sumber makanan bagi mikroba tanah secara keseluruhan, termasuk di dalamnya patogen *S. rolfsii*. Indikator tekstur tanah yang digunakan untuk analisis SEM adalah kadar liat. Berarti semakin rendah kandungan liat populasi patogen atau mikroba semakin tinggi. Rendahnya kandungan liat atau tingginya kandungan pasir memberikan pori yang cukup untuk tempat hidup patogen maupun mikroba tanah dan aerasi yang baik untuk kebutuhan respirasi kedua kelompok mikroorganisme tanah tersebut.

c. Faktor Mikroba Tanah dan Suhu Tanah

Faktor mikroba tanah ternyata berpengaruh negatif baik terhadap patogen maupun intensitas penyakit, dengan nilai koefisien regresi masing-masing adalah $-0,89$ dan $-0,19$. Hal itu berarti faktor mikroba tanah ini memiliki efek menekan terhadap patogen maupun laju perkembangan intensitas penyakit. Mikroba tanah yang diamati dalam penelitian ini adalah dibatasi pada jamur saprob selain *S. rolfisii*. Beberapa jamur saprob yang muncul diantaranya ada yang telah dikenal memiliki daya antagonisme terhadap berbagai jamur patogen, seperti *Trichoderma* spp., *Penicillium* spp., dan *Aspergillus* spp. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mikroba saprob (antagonis) dalam tanah memiliki peran yang cukup besar, walaupun dengan nilai koefisien regresi yang tidak terlalu tinggi, dalam menekan populasi patogen dan mengurangi terjadinya intensitas penyakit. Dalam model diagram jalur yang dihasilkan oleh penelitian ini, ternyata faktor mikroba tanah juga berpengaruh secara langsung kepada laju perkembangan intensitas penyakit busuk batang *S. rolfisii* dan tidak langsung melalui patogen. Hal itu menjelaskan bahwa peranan mikroba tanah dalam menimbulkan penyakit busuk batang *S. rolfisii* pada kedelai melalui dua mekanisme; pertama adalah dengan cara menekan populasi patogen sehingga terjadi penurunan potensi inokulum, dan yang kedua adalah dengan cara mencegah terjadinya kontak dan penetrasi patogen kepada inang karena adanya kompetisi antara mikroba saprob dengan patogen di daerah rizosfer. Hasil penelitian ini ternyata mendukung teori yang selama ini dipahami bahwa tanah tidak steril atau tanah dengan semakin banyak kandungan mikroba saprob, semakin memperkecil atau menekan terjadinya penyakit tular tanah. Inilah yang dikenal dengan istilah 'suppressive soil' (Bollen, 1969; Hornby, 1983; Larkin, Hopkins, Martin, 1993a ; 1993b.; Sullivan, 2001). Penelitian Zambolim, Schenck, Mitchell (1983) mengungkapkan bahwa kepadatan inokulum, yang dihitung berdasarkan populasi sklerotium *Rhizoctonia solani* per g tanah, ternyata lebih cepat perkembangannya pada tanah steril dibanding dengan pada tanah tidak steril. Hal itu menunjukkan bahwa pada tanah tidak steril terdapat potensi 'suppressive soil' yang menyebabkan perkembangan sklerotium menjadi lebih terkendali. Menurut pengamatan King & Coley-Smith (1969); van den Boogert & Saat (1991), tingkat 'suppressive soil' suatu tanah pertanian sangat beragam dari setiap jenis tanah dan lokasi tanah itu berada.

Hasil penelitian rumahkaca menunjukkan bahwa ternyata peranan antagonis, yaitu *Trichoderma* sp. dengan sangat signifikan dapat menekan intensitas penyakit busuk batang kedelai yang disebabkan oleh *S. rolfsii*, lebih-lebih apabila dikombinasi dengan kompos. Demikian pula laju infeksi menjadi sangat menurun dengan adanya antagonis di dalam tanah (Tabel 15).

Tabel 15. Pengaruh Antagonis dan Kompos terhadap Intensitas Penyakit dan Laju Infeksi *S. rolfsii* pada Tanaman Kedelai di Laboratorium

Perlakuan	Intensitas penyakit (%) pada ... his		Laju Infeksi (100%/mgg)
	6	42	
Kontrol (sakit)	91,7 a	100,0 a	0,041
<i>Trichoderma</i> sp.	4,2 b	12,5 c	0,006
Kompos	37,5 b	50,0 b	0,018
<i>Trichoderma</i> sp.dan Kompos	0 b	8,8 c	0,004

Keterangan: Angka-angka yang didampingi oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNT ($p = 0,05$)

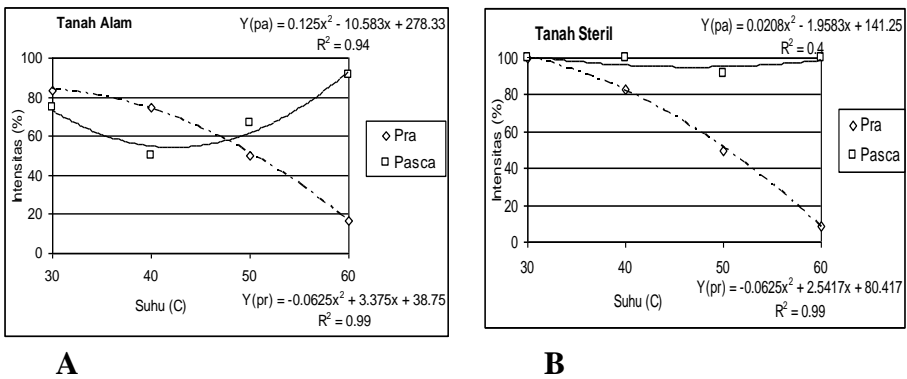
Pada Tabel 15 tersebut terlihat bahwa perlakuan kontrol pada hari ke enam sudah hampir semua tanaman menjadi sakit, sedang pada polibag yang diberi *Trichoderma* sp. tanaman sakit baru 4,2%; bahkan yang dikombinasi dengan kompos, belum ada satupun tanaman yang sakit. Fakta tersebut dapat mengungkapkan dua hal, pertama dari sudut pandang peran antagaonis, mengungkapkan bahwa keberadaan antagonis sangat berpengaruh terhadap perkembangan patogen busuk batang kedelai tersebut. Kedua, dari sudut pandang patogen itu sendiri, ternyata *S. rolfsii* sangat rentan terhadap aktivitas antagonis khususnya *Trichoderma* sp. Untuk itu telah dipelajari lebih lanjut tentang efek mikroba dan suhu tanah terhadap kemampuan sklerotium dari *S. rolfsii* menimbulkan penyakit pada kedelai yang memberikan hasil seperti pada Tabel 16 dan Gambar 20.

Tabel 16. Pengaruh Perlakuan Suhu terhadap Kemampuan Sklerotium *S. rolfsii* Menimbulkan Penyakit Busuk Batang pada Kedelai

Perlakuan Suhu (°C)	Tanah Alam		Tanah Steril	
	Inokulasi Pra Suhu	Inokulasi Pasca Suhu	Inokulasi Pra Suhu	Inokulasi Pasca Suhu
30	83,33 b	75,00 bc	100,00 a	100,00 a
40	75,00 bc	50,00 cd	83,33 b	100,00 a
50	50,00 cd	66,67 bc	50,00 cd	91,67 ab
60	16,67 ef	91,67 ab	8,33 f	100,00 a

Keterangan: Angka-angka yang didampingi oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNT ($p = 0,05$)

Dari Tabel 16 dan Gambar 20 terlihat bahwa pengaruh suhu tanah terhadap kemampuan *S. rolf sii* untuk menimbulkan penyakit busuk batang kedelai tergantung pada ada atau tidak adanya mikroba di dalam tanah. Artinya 'suppressive soil' hanya bekerja pada tanah tidak steril, dimana keragaman mikroba masih sangat tinggi; dan menjadi hilang pengaruhnya bila diperlakukan dengan suhu sampai mendekati 50 °C. Sesuai dengan temuan tersebut, penelitian Mihail & Alcorn (1984) mengemukakan bahwa pemulsaan tanah selama dua sampai enam minggu dapat menyebabkan peningkatan suhu tanah sampai dengan 50 °C dan ternyata dapat menekan populasi *S. rolf sii* sampai mendekati nol, beberapa patogen tanah juga menunjukkan respon yang serupa (Katan *et al.*, 1976).



Gambar 20. Pengaruh Perlakuan Suhu Tanah terhadap Kejadian Penyakit Busuk Batang Kedelai (*S. rolf sii*) pada Tanah Alami (A) dan Tanah Steril (B) dengan Cara Inokulasi Sebelum (Pra) dan Sesudah (Pasca) Perlakuan Suhu.

Sedang apabila sklerotium *S. rolf sii* diinokulasikan sebelum perlakuan suhu maka kemampuannya untuk menimbulkan penyakit semakin menurun dengan makin tingginya suhu. Hal itu dikarenakan menurunnya viabilitas *S. rolf sii*. Hasil pengamatan terhadap viabilitas sklerotium di laboratorium menunjukkan, bahwa dengan meningkatnya suhu dari 30 °C menyebabkan terjadinya penurunan kemampuan sklerotium untuk berkecambah. Bahkan pada perlakuan suhu 60 °C selama 5 jam, sklerotium sudah hampir tidak mampu berkecambah lagi (Tabel 17).

Tabel 17. Rata-rata Perkecambahan Sklerotium *S. rolfsii* pada Berbagai Perlakuan Suhu

Lama pemanasan (jam)	Suhu (°C)			
	30	40	50	60
3	75,00a	83,33a	54,17b	37,50c
5	73,33ab	58,33b	54,17b	4,17d

. Keterangan: Angka-angka yang didampingi oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNT ($p = 0,05$)

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa '*suppressive soil*' ditentukan oleh adanya mikroorganisme di dalam tanah. Seperti diketahui banyak di antara mikroorganisme saprob di dalam tanah memiliki kemampuan antagonis terhadap beberapa patogen tanaman. Dan bahwa pemanasan tanah perlu diwaspadai, walaupun secara langsung dapat menekan perkembangan patogen, jangan sampai melampaui 'thermal death point' kebanyakan mikroba; karena hal itu dapat menghilangkan efek '*suppressive soil*'.

Peranan mikroba (tanah) antagonis dalam pengendalian penyakit tanaman telah lama diteliti, dan pengembangannya memiliki prospek yang sangat luas; bahkan khusus untuk patogen tanaman tular tanah, penggunaan peran antagonis ini menjadi salah satu pilar dalam strategi pengendalian penyakit (Di Pietro *et al.*, 1992; Hadar *et al.*, 1984; Lo, Nelson, Harman, 1997; Papavizas & Lewis, 1983; Papavizas, 1985; Weller, 1988). *Trichoderma* spp. dan *Gliocladium* spp. merupakan dua genus jamur antagonis yang telah banyak dipelajari dan dikembangkan, yang diketahui mampu menekan perkembangan *S. rolfsii*, karena dapat memparasit dan menghasilkan enzim dan atau toksin yang dapat mengganggu sehingga dapat menekan perkembangan patogen tersebut (Henis *et al.*, 1983; Punja & Grogan, 1983; Benhamou & Chet, 1993; Duffy, Simon, Weller, 1995; Rousseau, Benhamou, Chet, Phiche, 1996). Namun efek penekanan tersebut ternyata dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban tanah. Mihail & Alcorn (1984) mengemukakan bahwa pada tanah asam di lapangan yang dilakukan pemulsaan menggunakan plastik transparan, dengan suhu maksimum 41 °C dan kondisi basah atau kering viabilitas *S. rolfsii* masih pada kisaran 83 - 36%; namun pada suhu tanah maksimum 60 °C selama 2 - 4 minggu, ternyata viabilitas *S. rolfsii* menurun sampai dengan nol.

d. Faktor Tanaman

Faktor umur tanaman ternyata tidak memiliki pengaruh langsung kepada laju perkembangan intensitas, namun pengaruhnya secara tidak langsung melalui jalur patogen atau mikroba. Pengaruh melalui patogen ternyata memiliki koefisien regresi negatif, yaitu sebesar $-0,17$. Sedang pengaruh melalui mikroba mempunyai koefisien regresi positif dengan nilai sebesar $1,02$.

S. rolfsii memang dikenal sebagai patogen pembibitan dan tanaman muda. Oleh karenanya dengan bertambahnya umur maka penambahan intensitas penyakit akan semakin menurun. Oleh karena itu koefisien regresi tanaman terhadap patogen memiliki nilai negatif.

Sedang pengaruh melalui jalur mikroba memiliki nilai regresi positif, artinya adanya tanaman merupakan faktor yang kondusif bagi mikroba tanah. Hal ini dapat dipahami, mengingat adanya eksudat akar memberikan rangsangan dan sisa-sisa bahan organik yang dapat meningkatkan perkembangan mikroba tanah, di samping tidak sedikit adanya hubungan simbiosis antara perakaran tanaman dengan mikroba tanah.

C. Pembahasan Umum

Model bertujuan untuk menyederhanakan suatu sistem yang sebenarnya kompleks, sehingga mempermudah pengertian tentang sistem itu sendiri. Namun demikian sifat kesederhanaan tersebut tidak menghilangkan ciri-ciri penting dari sistem yang sebenarnya, sehingga perilaku dari sistem tersebut sama seperti yang ada di dalam model itu.

Structural Equational Modeling (SEM) merupakan pengembangan dari berbagai analisis modeling yang berbasis statistika dan tergolong dalam model statis. Artinya model ini berusaha mempelajari suatu sistem pada suatu waktu ('*cross section*'), namun melakukan analisis berbagai faktor yang terlibat dalam sistem tersebut serta mengidentifikasi bentuk hubungan satu sama lain beserta besaran hubungannya (=koefisien regresinya).

Salah satu kelebihan dari SEM ini adalah melakukan analisis tersebut secara simultan, sehingga lebih mencerminkan fakta yang sesungguhnya terjadi pada sistem tersebut. Sebagai contoh dalam kasus patogen tanah; kalau selama ini diyakini paling tidak terdapat empat faktor yang terlibat dalam kejadian patogen tanah, yaitu patogen itu sendiri, tanaman, tanah dan mikroba tanah. Dalam penelitian secara konvensional

selama ini hanya dapat menentukan bentuk hubungan antara dua atau tiga faktor yang terlibat. Misalnya, pengaruh mikroba terhadap patogen; pengaruh mikroba dan suhu terhadap patogen, dan seterusnya secara parsial. Padahal peristiwa yang sebenarnya terjadi dalam sistem patogen tanah tersebut, seluruh faktor yang mempengaruhinya tersebut bekerja secara simultan. Sehingga hasil penelitian secara parsial tersebut pada hakikatnya bukanlah fakta yang sebenarnya terjadi, namun sebagian dari fakta yang terjadi sebenarnya. SEM berusaha mengeliminir beberapa hal tersebut, karena menggunakan data empiris yang terjadi sebenarnya pada suatu sistem, kemudian menganalisisnya secara simultan untuk memperoleh bentuk-bentuk hubungan yang terjadi beserta besarannya.

Dari model struktural (SEM) yang dihasilkan dalam penelitian ini (Gambar 17.) terdapat komponen SEM berupa model persamaan regresi linear berganda sebagai berikut:

$$1. Y_1 = 0,19 X_1 - 0,19 X_2 \quad (R^2 = 0,12)$$

$$2. Y_2 = 1,18 X_3 - 0,66 X_4 - 0,10 X_5 - 0,17 X_6 - 0,89 X_7 \quad (R^2 = 0,99)$$

$$3. Y_3 = 2,10 X_3 + 0,15 X_4 - 0,73 X_5 + 1,02 X_6 \quad (R^2 = 0,91)$$

$$4. Y_4 = 0,79 X_3 \quad (R^2 = 0,33)$$

$$5. Y_5 = 1,10 X_3 \quad (R^2 = 0,75)$$

(Y_1 = Intensitas; Y_2 = Patogen; Y_3 = Mikroba; Y_4 = Tanah; Y_5 = Iklim; X_1 = patogen, X_2 = mikroba; X_3 = lokasi; X_4 = tanah; X_5 = iklim; X_6 = tanaman; dan X_7 = mikroba)

Model persamaan regresi 1 mengungkapkkan bahwa ternyata faktor yang berpengaruh langsung terhadap intensitas penyakit adalah patogen dan mikroba tanah, yang masing-masing memiliki nilai koefisien regresi yang sama, namun berbeda tandanya, yaitu +0,19 dan -0,19. Berdasarkan model persamaan yang dihasilkan ini kejadian penyakit busuk batang kedelai yang disebabkan oleh *S. rolfisii* sangat ditentukan oleh keberadaan kedua faktor tersebut; dan yang lebih penting adalah ternyata antara patogen dan mikroba memiliki nilai yang sama. Artinya untuk mengendalikan penyakit maka tidak diperlukan jumlah mikroba tanah (antagonis) terlalu banyak. Karena berdasarkan model persamaan 1 tersebut setiap muncul satu unit patogen maka cukup dengan satu unit mikroba tanah (antagonis) saja, kejadian penyakit busuk batang kedelai dapat dihindari (sama dengan nol). Mungkin faktor inilah yang menjadi salah satu sebab mengapa penyakit busuk batang kedelai *S. rolfisii* ini, belum pernah meledak secara meluas, walaupun pada

beberapa daerah tertentu terjadi kasus dan juga studi di rumah kaca dapat menimbulkan kerugian yang cukup signifikan. Namun demikian perlu diingat kembali kepada konsep SEM, bahwa setiap model persamaan tersebut tidak berdiri sendiri, melainkan harus diperhitungkan kondisi persamaan yang lain.

Oleh karena hal tersebut maka sangat penting untuk memperhatikan model persamaan yang lain, khususnya model persamaan regresi 2 dan 3 yang menjelaskan tentang faktor patogen dan mikroba itu sendiri. Berdasarkan model persamaan regresi 2 dan 3 tersebut, bukan tidak mungkin pada suatu lokasi tertentu populasi patogen meningkat dengan tajam, sementara populasi mikroba tanah mengalami penurunan. Pada saat demikian itulah maka akan terjadi peluang meledaknya penyakit busuk batang kedelai yang disebabkan oleh *S. rolfsii* ini.