IV. ANALISIS EPIDEMIOLOGI

4.1. Model Epidemi Penyakit Tanaman

Epidemi terjadi sebagai akibat adanya pertumbuhan dan perkembangan suatu populasi patogen pada atau dalam populasi inang. Pada banyak kasus, patogen akan dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain oleh vektor maupun pembawa (carier) lainnya. Selain itu, banyak kasus bahwa patogen dapat bertahan pada suatu tempat dalam keadaan *laten.* Tempat patogen bertahan dalam keadaan laten disebut *reservoir*. Sebagai contoh *Pseudomonas solanacearum*, menyerang tanaman dari kelompok *Solanaceae,* menyebabkan penyakit layu dan dapat bertahan pada tanaman jagung. Jadi Solanaceae merupakan tanaman inang dan tanaman jagung merupakan reservoir dari. *Pseudomonas solanacearum*.

Suatu epidemi terdiri dari serangkaian daur atau rantai infeksi yang menunjukan adanya kesinambungan proses secara terus menerus. Proses kesinambungan rantai infeksi dapat bervariasi dalam hal : kecepatan dan tingkat infeksi. Kecepatan proses dipengaruhi oleh inang, patogen dan lingkungan, sedangkan tingkat infeksi tergantung kondisi patogen sendiri, yang dapat bervariasi dari optimal kemudian menurun pada kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan sampai tingkat infeksi nol selama periode laten. Hal yang penting untuk diperhatikan bahwa karena alasan tertentu maka suatu epidemi dapat dihentikan, misalnya dengan menggunakan bahan kimia, penurunan jumlah inang, managemen lingkungan dan lainnya.

Epidemi adalah proses yang dinamis. Epidemi mulai pada satu atau beberapa tanaman dan kemudian, tergantung pada jenis, besar dan lama faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi inang dan patogen, meningkatkan berat dan menyebar melampaui batas-batas geografis yang lebih luas hingga akhirnya mati. Epidemi akan berhenti apabila semua tanaman inang mati karena patogen, dipanen atau menjadi tahan terhadap patogen (mungkin karena umur). Dalam banyak cara pemunculan, perkembangan dan penyebaran epidemi menyerupai angin badai. Dalam kedua kasus tersebut, manusia sangat tertarik dalam menentukan unsur dan keadaan yang memulai masing-masing keadaan tersebut, kondisi yang mempengaruhi kecepatan peningkatan dan arah pergerakannya, serta kondisi yang menyebabkan kematiannya. Untuk kedua fenomena tersebut, pengamatan, pengukuran, rumus matematik dan komputer telah digunakan secara luas untuk mempelajari perkembangan dan menduga ukuran, arah dan waktu serangan pada lokasi lain.

Setiap epidemi penyakit tanaman, sebagai contoh : karat batang pada gandum, late blight pada kentang, kudis apel, dan embun tepung pada anggur mengikuti pola yang dapat diduga pada setiap lokasi setiap tahun. Pola epidemi tersebut bervariasi dengan varietas tanaman inang dan ras patogen yang ada, dengan jumlah inokulum patogen yang terdapat pada awal epidemi, dan dengan jumlah inokulum patogen yang terdapat pada awal epidemi, dan dengan tingkat kelembaban dan kisaran suhu selama epidemi berlangsung. Lebih banyak informasi yang diketahui tentang setiap komponen epidemi dan bahkan untuk setiap sub-komponennya pada keadaan tertentu, maka akan lebih dapat memahami dan menggambarkan epidemi tersebut, dan lebih baik prediksi (prakiraan) yang dapat dilakukan tentang arah dan tingkat serangan pada waktu selanjutnya atau pada areal yang lain. Kemampuan memprediksi arah dan tingkat serangan epidemi tentu saja mengandung kepentingan praktis, yaitu : memberi peluang bagi kita menentukan apa, kapan dan bagaimana bentuk strategi pengelolaan penyakit yang dapat dilakukan untuk menurunkan atau kalau mungkin bahkan meniadakan sama sekali penyakit tersebut pada lokasi tertentu.

Pada tahun-tahun belakangan ini, dalam usaha meningkatkan kemampuan kita untuk mengetahui dan memprediksi perkembangan suatu epidemi, para ahli penyakit tumbuhan telah berusaha, dengan sedikit banyak telah berhasil untuk mengembangkan model-model potensial epidemi beberapa jenis penyakit yang umum dan berbahaya. Bentuk model tersebut memasukkan semua komponen serta juga banyak sub-komponen penyakit tanaman spesifik hingga informasi tersebut digunakan untuk analisis kuantitatif, yaitu diolah dengan menggunakan rumus matematik. Model yang disusun umumnya berbentuk sederhana yang hanya berupa garis besar epidemi, yang dapat dibandingkan secara kasar, sebagai contoh : memodelkan mainan mobil-mobilan dan pesawat udara sebagaimana mereka membandingkannya dengan mobil dan pesawat yang sebenarnya. Akan tetapi, sebagaimana model mainan, seseorang dapat menggambarkan dan memahami dengan lebih baik benda yang sebenarnya apabila model tersebut lebih jelas dan lebih rinci menggambarkan bagian-bagiannya. Lebih mirip tiruan tersebut dengan model yang sebenarnya maka akan lebih baik gambaran yang kita dapatkan, dan kita lebih dapat memahami fungsi barang tersebut dengan melihat modelnya. Pada model epidemi penyakit tanaman, setiap komponen dan sub-komponen epidemi mungkin dipertimbangkan setara dengan satu bagian model mainan, dan hanya saja diukur dengan lebih teliti dan bagiannya dibuat secocok mungkin untuk mendapatkan model mainan yang lebih meyakinkan, dengan lebih telitinya sub-komponen epidemi diukur dan digabungkan bersama-sama, maka akan lebih telitilah gambaran epideminya. Apabila kita mempunyai informasi yang cukup tentang nilai sub-komponen epidemi pada tingkat-tingkat berbeda, maka selanjutnya kita dapat mengembangkan persamaan matematik yang menggambarkan epidemi.

Analisis model matematik epidemi penyakit tanaman memberikan banyak informasi yang berkenaan dengan jumlah dan efikasi inokulum awal, pengaruh lingkungan, ketahanan tanaman inang terhadap penyakit, lama jangka waktu inang dan patogen berinteraksi dan efektivitas beberapa strategi pengendalian penyakit tumbuhan. Usaha untuk menguji model epidemi dengan observasi dan penelitian yang aktual akan menjelaskan bagian pengetahuan yang dibutuhkan, dan selanjutnya menunjukkan arah kajian yang harus dilakukan tentang penyakit tersebut.

Dalam model epidemiologi, pertumbuhan epidemi dapat dilihat sebagai kenaikan jumlah individu inang sakit yang kemudian dapat menggambarkan kesetaraan populasi patogen. Dalam epidemiologi, suatu populasi inang dinilai dengan angka 1 (satu) atau 100%. Hal ini dapat dilakukan karena memungkinkan mengukur inangnya, tetapi hal yang sama tidak dapat dilakukan terhadap populasi patogen. Patogen berbeda dari serangga hama, karena serangga hama dapat diukur populasinya. Oleh karena itu, populasi patogen diukur sebagai bagian dari populasi inang sakit dengan nilai angka nol sampai satu atau nol sampai 100%.

4.2. Pendekatan patometri

Di muka sudah dinyatakan bahwa epidemi diartikan sebagai *pertumbuhan populasi patogen dalam populasi inang*. Kata 'tumbuh' dapat mempunyai arti bertambahnya sesuatu selama periode waktu tertentu yang diekspresikan dalam unit tertentu dari sesuatu tersebut. Untuk mengetahui bertambah atau tidaknya sesuatu tersebut perlu diukur dan dihitung. Dalam menghitung jumlah uang, biasanya kita menggunakan satuan sebagaimana kalau kita menghitung modal uang, kita hitung menggunakan satuan rupiah atau dolar atau satuan mata uang lainnya. Namun demikian perhitungan itu sendiri untuk membuat suatu perbandingan apakah yang kita hitung sama, lebih kecil atau lebih besar jika dibandingkan dengan pembanding yang kompatibel. Dengan alasan inilah yang membawa kepada perbandingan sejumlah tanaman atau bagian tanaman sakit yang disebut sebagai fraksi terhadap jumlah seluruh tanaman. Fraksi tersebut diberi simbul X, dengan nilai 0 (nol) sampai dengan 1 (satu). Oleh karena itu, persamaan pada tingkat pertumbuhan bunga majemuk diatas juga berlaku untuk fraksi ini.

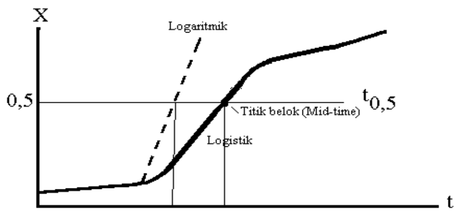
Untuk menghitung perkembangan populasi patogen dalam populasi inang dengan menggunakan logika pertumbuhan uang yang ditabung. Jika kita menyimpan sejumlah modal berupa uang dalam laci, maka modal tersebut tidak akan berkembang atau jumlah uang keseluruhan tetap tidak bertambah. Jika modal tersebut diberi kode X, maka pada waktu awal menyimpan = X_0 yang jumlahnya sama dengan modal pada waktu t (X_t), sehingga kecepatan pertumbuhan nol dengan rumus $\frac{dX}{dt} = 0$.

Jika uang tersebut di atas ditabungkan di bank, maka jumlah uang akan bertambah karena berbunga (r). Misalnya bunga tabungan 0,5% per bulan, maka peningkatan jumlah uang per bulannya ada 0,005 fraksi atau r = 0,005 fraksi/ bulan. Jika bunga tabungan tersebut diambil pada setiap akhir bulan kemudian disimpan dalam laci, maka uang keseluruhan akan bertambah dengan tingkat yang konstan. Pertambahan modal yang demikian disebut pertambahan bertahap (diskontinyu) dengan tipe bunga sederhana (*simple interest*). Jika uang tersebut ditabung selama t bulan dengan tingkat bunga sederhana atau setiap akhir bulan bunga diambil dan disimpan dalam laci, maka jumlah uang keseluruhan menjadi : $X_t = X_0 (1 + r t)$ dengan arti simbul X_t = jumlah uang pada waktu t ; X_0 = jumlah uang awal yang ditabung ; r = tingkat bunga per unit waktu ; dan t = lama waktu menabung. Hal tersebut menunjukan bahwa kecepatan pertumbuhan rata-ratanya konstan dengan rumus $\frac{dX}{dt} = r$.

Perlu diketahui bahwa secara teoritis unit waktu yang dipilih dapat berlaku setiap unit jangka pembayaran, misalnya : tahunan, bulanan, mingguan, harian, jam dan seterusnya. Pada persamaan bunga majemuk, dapat berlaku unit waktu yang sangat kecil atau unit waktu kecil tidak terbatas, sehingga persamaan di atas dapat ditulis menjadi : $X_t = X_0 e^{rt}$. Nilai e dalam persamaan merupakan logaritma bilangan alami (2.7182818), sedangkan r merupakan tingkat bunga dalam bentuk fraksi (bukan persen), dan t merupakan unit waktu. Pertumbuhan modal dengan unit waktu kecil tak terbatas seterti tersebut diatas disebut sebagai pertumbuhan tingkat bunga majemuk kontinyu (*continuous compound interest*), dengan kecepatan pertumbuhan $\frac{dX}{dt} = rX$.

Rumus $X_t = X_0 e^{rt}$ mempunyai perkembangan $\frac{dX}{dt} = rX$ yang kurvenya berbentuk huruf J, sehingga pertambahan X_t seakan-akan tanpa batas dapat mencapai titik tidak terhingga dan sulit dianalisis. Oleh karena itu kurve hubungan tersebut perlu duluruskan dengan menggunakan logaritma normal. Persamaan menjadi :

$\text{Ln } X_t = \text{Ln } X_0 \; e^{rt}$
$\text{Ln } X_t = \text{Ln } X_0 + \text{Ln } e^{rt}$
$\text{Ln } X_t = \text{Ln } X_0 + r\,t \text{ Ln } e$ => $\text{Ln } e = 1$
$\text{Ln } X_t = \text{Ln } X_0 + r\,t$
$r\,t = \text{Ln } X_t - \text{Ln } X_0$ => $\boxed{r = 1/t \{ \text{Ln } (Xt / Xo)\}}$



Pertumbuhan logaritmik suatu epidemi dalam bentuk kurve S dan J. (Prod. Bapur, 2001)

Kenyataan pada penyakit tumbuhan, dibatasi oleh faktor-faktor tertentu yang membatasi perkembangannya. Faktor-faktor tersebut misalnya faktor *makanan* dalam hal ini adalah ketersediaan jaringan sehat, faktor waktu, dan faktor cuaca.

Oleh kakrena itu rumus $X_t = X_0 e^{rt}$ hanya berlaku untuk mempertimbangkan strategi pengendalian penyakit tumbuhan, sedangkan untuk analisis epidemi diperlukan koreksi terhadap faktor-faktor pembatasnya.

Faktor pembatas yang perlu diperhitungkan adalah faktor tersedianya jaringan tumbuhan sebagai sumber 'makanan' patogen. Dalam epidemiologi, populasi tumbuhan sebagai sumber 'makanan' patogen merupakan satu kesatuan unit. Jika tumbuhan sakit dengan keparahan penyakit sebesar X fraksi, maka pada tumbuhan tersebut masih ada 1 - X fraksi yang masih sehat dan dapat digunakan sebagai sumber makanan patogen. Oleh karena itu rumus-rumus di atas harus dikoreksi dengan faktor 1 - X sebagai faktor pembatasnya, sehingga rumus perkembangan tipe bunga majemuk $X_t = X_0 e^{rt}$ menjadi $\boxed{r = \frac{1}{t_t - t_0} Ln \frac{X_t}{1 - X_t} - Ln \frac{X_0}{1 - X_0}}$, sedangkan untuk rumus perkembangan tipe bunga sederhana $X_t = X_0 (1 + r t)$ rumusnya menjadi $\boxed{r = \frac{1}{t_t - t_0} Ln \frac{1}{1 - X_t} - Ln \frac{1}{1 - X_0}}$

Contoh soal

1. Jika keparahan penyakit sebesar 0,12 fraksi menjadi 0,21 fraksi selama 8 tahun, berapa kecepatan perkembangan epideminyanya, jika mengikuti perkembangan tipe bunga sederhana dan berapa jika mengikuti perkembangan tipe majemuk?

   Diketahui:
   $X_o = 0,12$ fraksi
   $X_t = 0,21$ fraksi
   t = 8 tahun
   Ditanyakan berapa r

   Jawab:
   Untuk tipe sederhana rumusnya $r = \frac{1}{t_t - t_0} Ln \frac{1}{1 - X_t} - Ln \frac{1}{1 - X_0}$
   $r = \frac{1}{8\ tahun} Ln \frac{1}{1 - 0,21} - Ln \frac{1}{1 - 0,12}$
   $r = \frac{1}{8\ tahun}$ (0,2357 – 0,1278) fraksi
   r = 0,1079 fraksi/8 tahun = 0,0135 fraksi/tahun atau = 1,35 %/tahun

Untuk tipe majemuk $r = \frac{1}{t_t - t_0} Ln \frac{X_t}{1 - X_t} - Ln \frac{X_0}{1 - X_0}$

$r = \frac{1}{8\ tahun} Ln \frac{0{,}21}{1 - 0{,}21} - Ln \frac{0{,}12}{1 - 0{,}12}$

r $= \frac{1}{8\ tahun}$ (-1,3249 + 1,9924)

r = 0,6675/8 tahun = <u>0,0834 fraksi/tahun</u> atau <u>8,34 %/tahun</u>

2. Kecepatan perkembangan r = 0,07 fraksi/minggu. Pada tanggal 3 September X = 0,08 fraksi. Berapa X pada tanggal 1 Oktober untuk tipe perkembangan bunga majemuk?

<u>Diketahui</u>:
r = 0,07 fraksi/minggu
$X_{3\ Sept}$ = 0,08 fraksi
t = 3 September sampai 1 Oktober = 28 hari = 4 minggu
<u>Ditanyakan</u> berapa $X_{1\ Okt}$

<u>Jawab</u>:
Untuk tipe majemuk $r = \frac{1}{3\ Sept => 1\ Okt} Ln \frac{X_{1\ Okt}}{1 - X_{1\ Okt}} - Ln \frac{X_{3\ Sept}}{1 - X_{3\ Sept}}$

0,07 fraksi/minggu$= \frac{1}{4\ minggu} Ln \frac{X_{1\ Okt}}{1 - X_{1\ Okt}} - Ln \frac{0{,}08}{1 - 0{,}08}$

0,28 fraksi = $Ln \frac{X_{1\ Okt}}{1 - X_{1\ Okt}}$ + 2,4423 fraksi

$Ln \frac{X_{1\ Okt}}{1 - X_{1\ Okt}}$ = (0,28 - 2,4423) fraksi

$Ln \frac{X_{1\ Okt}}{1 - X_{1\ Okt}}$ = - 2,1623

$X_{1\ Okt}$ = <u>0,1035 fraksi</u> atau = <u>10,35 %</u>

3. Berikut ini hasil pengamatan berat serangan pada tanggal 1 dan tanggal 15 dengan menggunakan skoring 0 sampai 8 dari 10 petak pertanaman.

Tanggal	Skor pada Petak									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0	0	1	2	0	3	0	1	2
15	2	3	3	1	4	2	3	3	2	1

Berapa berat serangan pada tanggal 30 jika mengikuti perkembangan tipe sederhana?

<u>Diketahui</u>:
$X_1 = \frac{\sum nV}{ZN} = \frac{1+0+0+1+2+0+3+0+1+2}{8 \times 10} = \frac{10}{80}$ = 0,125 fraksi

$X_{15} = \frac{\sum nV}{ZN} = \frac{2+3+3+1+4+2+3+3+2+1}{8 \times 10} = \frac{24}{80}$ = 0,3 fraksi

<u>Ditanyakan</u> berapa X_{30} ?

<u>Jawab</u>:
Untuk tipe sederhana rumusnya $r = \frac{1}{t_t - t_0} Ln \frac{1}{1 - X_t} - Ln \frac{1}{1 - X_0}$

$$r_{1=>15} = \frac{1}{tgl\ 1=>15} Ln \frac{1}{1-X_{15}} - Ln \frac{1}{1-X_1}$$

$$r_{1=>15} = \frac{1}{14\ hari} \left[Ln \frac{1}{1-0,3} - Ln \frac{1}{1-0,25} \right]$$

14 hari x $r_{1=>15}$ = (0,3567 – 0,2877) fraksi

14 $r_{1=>15}$ =0,069

$r_{1=>15}$ = <u>0,0049 fraksi/hari</u> atau <u>0,49 %/hari</u>

$$r_{1=>30} = \frac{1}{tgl\ 1=>30} Ln \frac{1}{1-X_{30}} - Ln \frac{1}{1-X_1}$$

$$0,0049\ fraksi/hari = \frac{1}{30\ hari} \left[Ln \frac{1}{1-X_{30}} - Ln \frac{1}{1-0,25} \right]$$

0,147 fraksi = $Ln \frac{1}{1-X_{30}}$ – 0,2877 fraksi

$Ln \frac{1}{1-X_{30}}$ = 0,4347

X_{30} = <u>0,352 fraksi</u> atau <u>35,2 %/hari</u>

Sumber Acuan

1. Kranz, J. (Ed.) 1974. Epidemics of Plant Diseses. Springer-Verlag. Berlin
2. Oka, I.N. 1993. Pengantar Epidemiologi Penyakit Tanaman. Gadjahmada University Press. Yogyakarta.
3. Plank, J.E.V.D. 1963. Plant Diseases : Epidemics and Control. Academic Press. New York.
4. Zadoks, J.C. & R.D. Schein. 1979. Epidemiology and Plant Disease Managemen. Oxford University press. New York.