

PENGARUH FAKTOR ABIOTIK TERHADAP PERKEMBANGAN PENYAKIT KARET DAN METODE PERAMALAN EPIDEMI

*The Effect of Abiotic Factors on The Development of Rubber Diseases
and Epidemic Forecasting Methods*

Tri Rapani Febbiyanti

Pusat Penelitian Karet, Jl. Palembang-Pangkalan Balai km.29, Banyuasin Palembang 30593
Email: trifebbi@yahoo.com

Diterima 3 Juni 2020 / Direvisi 27 Juli 2020 / Disetujui 11 Agustus 2020

Abstrak

Faktor iklim yang meliputi suhu, kelembaban, cahaya, curah hujan, dan angin sangat menentukan perkembangan penyakit. Secara umum, Indonesia memiliki kondisi iklim yang sangat sesuai bagi semua perkembangan penyakit karet. Namun, dari sekian banyak faktor iklim tersebut, suhu, kelembaban dan curah hujan merupakan faktor yang sangat penting dalam epidemiologi penyakit tanaman. Faktor tersebut banyak digunakan dalam peramalan timbulnya epidemi suatu penyakit tanaman. Sampai saat ini, peramalan epidemi penyakit karet masih terbatas hanya berdasarkan metode pengamatan langsung dan tidak langsung (dengan data iklim) dan dirasakan belum sempurna. Saat ini telah dikembangkan peramalan epidemi penyakit dengan menggunakan model analisis matematik berdasarkan hubungan faktor iklim dan perkembangan penyakit karet pada berbagai penyakit lain. Hal ini sangat membantu dalam mengembangkan manajemen pengendalian penyakit tersebut dan upaya antisipasi akan timbulnya epidemi penyakit. Dalam tulisan ini diuraikan pengaruh faktor iklim terhadap perkembangan penyakit karet dan beberapa metode peramalan akan timbulnya epidemi penyakit tersebut sebagai landasan antisipasi untuk mencegah timbulnya epidemi atau kerusakan berat oleh penyakit tersebut.

Peramalan untuk penyakit daun karet menggunakan model pengamatan langsung dan analisis data iklim dengan menggunakan fungsi TE. Peramalan penyakit akar dengan menggunakan persamaan regresi berdasarkan kematian tanaman pada tahun tertentu dan pola *simple interest disease*. Peramalan untuk penyakit cabang batang dengan menggunakan data curah hujan yang dihubungkan dengan perkembangan patogen sehingga akan dihasilkan kurva sigmoid atau kurva-s dan pola *compound interest disease*.

Kata kunci: epidemi penyakit, penyakit karet, faktor iklim, iklim

Abstract

Climatic factors, which include temperature, humidity, light, rainfall and wind, determine the development of the disease. In general, Indonesia has climatic conditions that are very suitable for all rubber disease developments. However, from these many climatic factors, temperature, humidity and rainfall are very important factors in the epidemiology of plant diseases. This factor is widely used in predicting the epidemic of a plant disease. Until now, the prediction of the rubber disease epidemic is still limited only based on direct and indirect methods of observation (with climate data) and is felt to be imperfect. In the future, it is hoped that it is necessary to develop disease epidemic forecasting using a mathematical analysis model

based on the relationship between climatic factors and the development of rubber disease in various other diseases. This is very helpful in developing management control of the disease and efforts to anticipate disease epidemics. This paper describes the influence of climatic factors on the development of rubber disease and several methods of predicting the epidemic of the disease as a basis for anticipation to prevent epidemics or serious damage from the disease. Forecasting for rubber leaf disease uses direct observation models and analysis of climate data. Forecasting root disease using regression equations based on plant mortality in a certain year. Forecasting for stem branch diseases using rainfall data associated with the development of pathogens so that a sigmoid curve or S-curve will be formed.

Keywords: disease epidemic, disease, rubber, climatic factors, climate

Pendahuluan

Lebih dari 22 jenis penyakit berpotensi menimbulkan kerusakan pada akar, bidang sadap, batang/cabang dan daun di perkebunan karet Indonesia (Basuki, 1981; Pawirosoemardjo, 2004). Di antara jenis penyakit tersebut, penyakit yang paling penting adalah penyakit akar putih (Situmorang, 2004), kekeringan alur sadap (Siswanto, Sumarmadji, dan Situmorang 2004) dan penyakit gugur daun *Corynespora* (Situmorang *et al.* 2004). Penyakit kanker batang yang disebabkan oleh *Lasioidiplodia theobromae* (Febbiyanti *et al.*, 2019) dan penyakit gugur daun *Pestalotiopsis* (Febbiyanti dan Fairuzah, 2019) akhir-akhir ini mulai menunjukkan peningkatan kerusakan di beberapa lokasi perkebunan karet di Sumatera bagian Selatan.

Pada umumnya semua jenis penyakit penting karet, terdistribusi merata di semua sentra perkebunan Indonesia dengan menimbulkan kerusakan yang berbeda-beda (Pawirosoemardjo *et al.*, 1992). Perbedaan tingkat kerusakan penyakit pada sentra

perkebunan karet dipengaruhi oleh ketahanan klon karet, virulensi patogen dan kondisi lingkungan yaitu tanah, ketinggian tempat dan faktor iklim (Tabel 1) (Lasminingsih *et al.*, 2004).

Faktor iklim yang meliputi suhu, kelembaban, cahaya, curah hujan dan angin sangat menentukan perkembangan penyakit. Penyebaran patogen dan kemampuan patogen bersporulasi sangat ditentukan oleh kelembaban nisbi udara, suhu, cahaya dan pergerakan udara serta air bebas. Namun, untuk perkembangan penyakit selanjutnya sangat dibantu oleh kondisi iklim yang abnormal, pembagian hujan yang merata sepanjang tahun serta kerentanan tanaman inang.

Secara umum, Indonesia memiliki kondisi iklim yang sangat sesuai bagi semua perkembangan penyakit karet. Namun, diantara faktor iklim tersebut suhu, kelembaban dan hujan merupakan faktor yang sangat penting dalam epidemiologi penyakit tanaman. Faktor tersebut banyak digunakan dalam peramalan timbulnya epidemi suatu penyakit tanaman.

Sampai saat ini, peramalan epidemi penyakit karet masih terbatas hanya berdasarkan metoda pengamatan langsung dan tidak langsung (dengan data iklim) dan dirasakan belum sempurna. Di masa mendatang diharapkan perlu dikembangkan peramalan epidemi penyakit dengan menggunakan model analisis matematik berdasarkan hubungan faktor iklim dan perkembangan penyakit karet pada berbagai penyakit lain. Hal ini sangat membantu dalam mengembangkan manajemen pengendalian penyakit tersebut dan upaya antisipasi akan timbulnya epidemi penyakit.

Dalam tulisan ini diuraikan pengaruh faktor iklim terhadap perkembangan penyakit karet dan beberapa metoda peramalan akan timbulnya epidemi penyakit tersebut sebagai landasan antisipasi untuk mencegah timbulnya epidemi atau kerusakan berat oleh penyakit tersebut.

Tabel 1. Jenis penyakit dan faktor pemicu kerusakan

Jenis penyakit	Faktor pemicu epidemik/kerusakan	Periode serangan berat
<u>Penyakit akar</u>		
Penyakit akar putih	Hujan, tanah gembur/berpasir dan tunggul/sisa akar	Umur 1-5 tahun
Penyakit akar merah	Hujan dan tunggul/sisa akar	Umur > 8 tahun
<u>Penyakit batang/cabang</u>		
Jamur upas	Kelembaban tinggi dan musim hujan	Umur 4 -12 tahun
Kanker batang, lapuk batang Fusarium	Hujan panas berselang seling	Bibit TBM dan TM
Kanker bercak	Kelembaban tinggi dan musim hujan	TBM dan TM
<u>Penyakit bidang sadap</u>		
Mouldy rot	Penyadapan intensitas tinggi, kelembaban tinggi dan musim hujan	TM
Kanker garis	Penyadapan intensitas tinggi, kelembaban tinggi dan musim hujan	TM
Kekeringan alur sadap	Penyadapan intensitas tinggi	TM
<u>Penyakit gugur daun</u>		
Corynespora	Hujan panas pada saat terbentuk daun muda	TBM dan TM
Colletotrichum	Hujan pada saat terbentuk daun muda	TBM dan TM
Oidium	Hujan rintik berselang-seling pada saat terbentuk daun muda	TM
Pestalotiopsis	Kelembaban dan curah hujan tinggi, daun tua	TBM dan TM

TBM = tanaman belum menghasilkan TM = tanaman menghasilkan

Pengaruh Faktor Iklim terhadap Perkembangan Penyakit Karet

Faktor Iklim seperti suhu, kelembaban, curah hujan, angin dan radiasi berpengaruh pada setiap tingkat siklus perkembangan patogen dan penyakit tanaman. Perkecambahan spora dan infeksi patogen pada umumnya memerlukan kelembaban tinggi atau kebasahan daun dalam periode yang lama dan suhu optimal (Friesland and Schrodter, 1988).

Masa inkubasi dan periode laten memerlukan suhu optimal tetapi kelembaban tinggi dan kebasahan daun hanya merupakan faktor penunjang. Pertumbuhan gejala sangat memerlukan kondisi suhu sedangkan kebasahan daun dan status air tanaman sebagai penunjang. Sporulasi patogen sangat memerlukan kebasahan daun dan kelembaban tinggi dalam periode yang lama. Dalam penyebaran spora diperlukan peranan angin dan turbulensinya serta hujan. Untuk pembebasan spora diperlukan kelembaban,

dan untuk pelepasan askospora dan sporangia diperlukan spektrum cahaya tertentu (Friesland and Schridter, 1988) (Tabel 2).

Ledakan penyakit daun *Colletotrichum* pernah terjadi pada tahun 1973-1974 di Sumatera, tahun 1984-1985 di Kalimantan, tahun 1989 di Sumatera dan Kalimantan, tahun 1993 di Sumatera Selatan, dan tahun 1996/1997 di Sumatera Selatan dan Lampung, epidemi ini terjadi akibat terjadinya musim hujan yang panjang (Situmorang, 1990).

Colletotrichum dapat mengakibatkan kerusakan berat pada klon yang peka bila didukung oleh kondisi iklim yang baik (Tabel 3). Adanya hujan pada saat pembentukan daun-daun baru setelah masa gugur daun akan mendapat serangan *Colletotrichum* yang sangat berat (Pawirosoemardjo S, 1984). Situmorang (1990) menyebutkan BPM 1, LCB 1320, PR 300, RRIM 600 merupakan klon yang tahan, sedangkan PR 300, PR 303 dan RRIM 712 termasuk klon yang peka. Selain itu, kepekatan spora di udara juga berpengaruh terhadap terjadinya infeksi dan penyebaran penyakit di pertanaman, spora udara *Colletotrichum* pada malam hari yaitu 5, 09

spora/mm², lebih pekat dibandingkan siang hari yang berkisar 1,55 spora/mm².

Kelembaban

Kelembaban merupakan faktor iklim yang menggambarkan jumlah kandungan uap air di udara. Pada umumnya, penyakit karet yang disebabkan oleh parasit bawaan udara (*air borne*) biasanya akan sangat baik terjadi pada setetes air, baik air hujan, kabut, maupun embun, hal ini biasanya terjadi pada penyakit daun (Tabel 4) (Situmorang, 1990). Hampir semua jamur penyebab penyakit karet merupakan *air borne* kecuali jamur penyebab penyakit akar, kanker batang *Lasiodiplodia* dan penyakit batang lainnya.

Penyakit daun. Bagi Patogen penyebab penyakit gugur daun pada karet, biasanya kelembaban sangat berhubungan dengan kondisi kebasahan daun. Pengukuran kebasahan daun sangat sulit dilakukan. Hasil pengukuran dengan instrumen elektronik atau mekanik sering tidak dapat mencatat gutasi air yang merupakan sumber air bebas yang diperlukan dalam perkembangan patogen

Tabel 2. Pengaruh faktor iklim terhadap fase perkembangan Patogen dan penyakit tanaman

Fase	Faktor Iklim
Infeksi dan perkecambahan	Kelembaban bebas daun/kebasahan daun dari hujan, embun/kabut, iritasi dan gutasi; dan lama suhu tertentu dalam periode tersebut
Inkubasi, periode laten dan perkembangan gejala	Lama suhu udara yang sesuai dan tidak sesuai; dan suhu daun
Sporulasi	Kelembaban bebas daun; kelembaban relatif yang tinggi; suhu; cahaya dan radiasi
Penyebaran spora	Kecepatan angin; suhu; kelembaban relatif yang tinggi; suhu; cahaya dan radiasi
Daya tahan hidup spora	Suhu dan kelembaban relatif; radiasi (UV)

Sumber: Friesland and Schrodter, (1988)

Tabel 3. Pengaruh iklim terhadap perkembangan penyakit gugur daun *Colletotrichum* pada tanaman karet

Kondisi iklim	Pengaruh terhadap perkembangan penyakit	
	Sesuai	Kurang sesuai
A Faktor Iklim		
1 Curah hujan (mm/hari)	15,2	10,5
2 Hari hujan (hari)	5,4	3,4
3 Kecepatan hujan (km/jam)	2,4	2,1
4 Kelembaban (%)	88,8	87,4
5 Suhu (°C)	26,4	26,5
6 Intensitas radiasi matahari (cal/cm ²)	415,0	401,8
7 Lama penyinaran matahari (jam/hari)	3,6	5,1
8 Penguapan (mm/hari)	3,7	-
B Perkembangan <i>Colletotrichum</i>		
1 Intensitas serangan (%)	65-95	5-35
2 Konsentrasi spora udara (spora/mm ²)	16,4	7,4

Sumber : Situmorang (1990)

Tabel 4. Kondisi kelembaban optimum yang mempengaruhi perkembangan penyakit daun pada Karet

No	Jenis penyakit	Perkembangan penyakit	Perkecambahan spora
1	Gugur daun <i>Corynespora</i>	>89 %	>96- 100%
2	Gugur daun <i>Colletotrichum</i>	>96%	>95 – 100 5
3	Gugur daun <i>Oidium</i>	75-80%	90%
4	Gugur daun <i>Phytophthora</i>	>80%	90 %

Sumber : (Pawirosoemardjo, 1982; Situmorang, 1990), Situmorang *et al.*, (2004)

(Kranz dan Rotem, 1988). Kebasahan daun dipengaruhi struktur dan kerapatan tanaman, kapasitas intersepsi dan evaporasi, lama hujan dan kesetimbangan enersi pada kanopi tanaman (Butler dan Jadhay, 1991).

Penyakit cabang dan batang. Kelembaban tinggi terjadi karena jarak tanam terlalu rapat, kebun tidak terawat, banyak gulma, keadaan

topografi dan angin. Penyakit jamur upas (*Corticium salmonicolor*) mengganas pada kebun yang memiliki jarak tanam rapat (Semangun, 1996) dan keadaan topografi berada di pesawahan, rawa, lembah dan sungai (Pawirosoemardjo, 2004). Serangan penyakit lapuk cabang batang *Fusarium* banyak dijumpai pada tanah yang diberikan pupuk

kandang karena memiliki kelembaban tanah tinggi.

Penyakit bidang sadap. Kelembaban biasanya berhubungan dengan jumlah air yang terdapat pada permukaan batang dan bidang sadap. Penyakit *Mouldy Rot* membentuk lapisan jamur seperti beledu yang mengakibatkan busuknya kulit dan rusaknya kambium pada cuaca yang lembab. Bidang sadapan yang baru dibuka akan lebih cepat terinfeksi pada cuaca lembab terhadap penyakit kanker bercak dan kanker garis *Phytophthora* (Budiman dan Amypalupy, 2004).

Penyakit akar. Pada penyakit akar, selain mempengaruhi perkembangan penyakit, kelembaban tanah juga berpengaruh terhadap jumlah mikroorganisme antagonis dalam tanah. Penyakit busuk *Helicobasidium* akan lebih berat dan menjalar lebih cepat pada kondisi lembab akibat gulma dan tanaman penutup tanah. Kelembaban relatif untuk jamur akar putih yaitu 50-100%. Selanjutnya, menekan jamur akar putih dapat dilakukan dengan menurunkan kelembaban lapisan atas tanah melalui penanaman tanaman penutup *Tithonia diversifolia* (Agrios, 2005).

Suhu

Suhu mempunyai pengaruh yang penting, namun pada umumnya pengaruhnya kalah jika dibandingkan dengan kelembaban. Jika kelembaban mempunyai pengaruh yang menentukan, maka suhu hanya mempunyai pengaruh yang membedakan (*differentiating effect*) yaitu menghambat dan mempercepat (Agrios, 2005).

Penyakit daun. Suhu bagi penyakit daun berhubungan dengan kekeringan udara yang terjadi. Beberapa konidium dari penyakit daun karet sangat dipengaruhi oleh suhu dan kekeringan kadar tertentu. Suhu optimum bagi perkembangan penyakit gugur daun *Corynespora* di lapangan adalah 26-29° C

(Situmorang dan Budiman, 1985) sedangkan pada suhu < 20° C dan > 35° C akan terhambat perkembangannya (Pawirosoemardjo dan Purwantara, 1987). Selanjutnya, spora patogen Penyakit gugur daun *Colletotrichum* tumbuh paling baik pada suhu 25-28° C, sedang dibawah 5° C dan di atas 40° C spora tidak dapat berkecambah (Wimalajeewa, 1965). Infeksi gugur daun *Oidium* paling banyak terjadi pada suhu 23 – 25° C, sedang di atas 32° C tidak akan ada infeksi. Periode infeksi akan terjadi jika suhu kurang dari 32° C dan kelembaban nisbi 90% (Lim, 1972).

Penyakit bidang sadap. Penelitian atas pengaruh suhu terhadap penyakit bidang sadap masih menemui kesulitan. Secara umum, patogen penyebab penyakit bidang sadap disebarkan lewat udara, sedangkan pengukuran suhu di dalam suatu lapisan udara yang sangat tipis pada permukaan badan tumbuhan tidak mudah diukur, yang biasanya berbeda dengan suhu udara disekitarnya. Suhu optimum bagi spora *Mouldy rot* (*Ceratocystic fimbriata*) berkecambah pada 22°-26° C, dan suhu maksimum 35° C (Beeley, 1931). Infeksi kanker garis *Phytophthora* selalu terbantu oleh suhu yang sejuk, dan jarang terjadi pada musim kemarau (Anon, 1980).

Penyakit akar. Pada banyak contoh mengenai pengaruh suhu terhadap penyakit akar masih belum diketahui dengan jelas mekanisme pengaruhnya. Namun, bagi jamur bawaan tanah (*soil borne*) lebih ditentukan oleh suhu-suhu yang kurang menguntungkan bagi perkembangan tumbuhan inang. Jadi disini suhu terutama berpengaruh melalui tumbuhan inang. Pada skala laboratorium isolat jamur akar putih tumbuh baik pada suhu 27° – 28° C dan pada suhu 15° C pertumbuhan isolat sangat terhambat, pada suhu 40° C isolat sama sekali tidak tumbuh, kemudian Rhizomorf jamur akar putih dapat diproduksi pada suhu 30° – 35° C (Liyanange *et al*, 1973).

Hujan

Hujan dan lama hujan (bulanan, hari dan jam) mempunyai peranan penting dalam perkembangan epidemi penyakit pada umumnya di daerah tropis. Pada umumnya epidemi penyakit timbul pada musim hujan karena patogen udara memerlukan kelembaban tinggi dan kebasahan daun untuk perkembangannya. Hujan dapat membantu

pembebasan/penyebaran dengan percikan hujan dan pencucian spora patogen dari permukaan tanaman dan tanah (Friesland and Schrodter, 1988). Akan tetapi hujan yang terus menerus sehingga tanah menjadi terlalu lembab akan mematikan atau menekan perkembangan patogen atau sebaliknya pada musim kemarau tanah menjadi kering sehingga patogen akan mati.

Tabel 5. Hubungan terjadinya epidemi *Colletotrichum gloeosporioides* dengan kondisi iklim pada tanaman karet tahun 1970-1998

Tahun	Jenis musim	Kondisi serangan patogen
1970	normal	
1971	normal	
1972	kering	
1973	basah	epidemi
1974	basah	epidemi
1975	basah	
1976	kering	
1977	kering	
1978	basah	
1979	normal	
1980	kering	
1981	basah	
1982	kering	
1983	kering	
1984	basah	epidemi
1985	normal	epidemi
1986	normal	
1987	kering	
1988	kering	
1989	normal	epidemi
1990	normal	
1991	kering	
1992	normal	
1993	normal	epidemi
1994	kering	
1995	normal	
1996	basah	epidemi
1997	kering	
1998	normal	

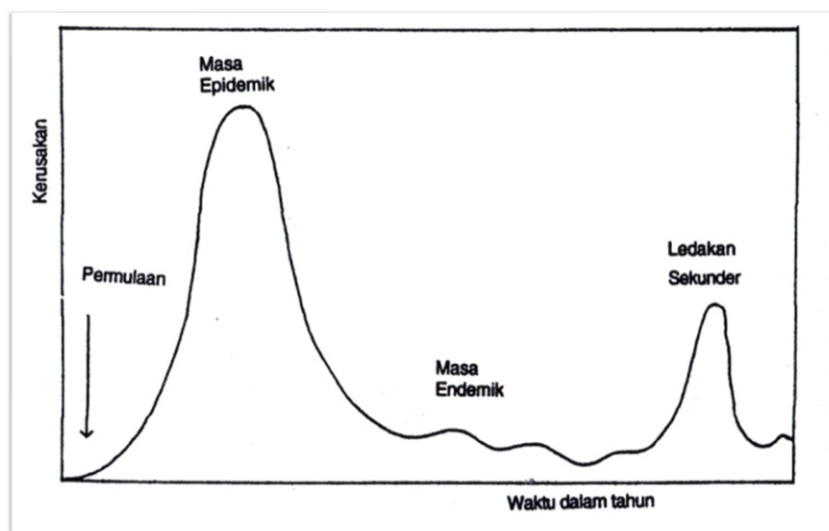
Sumber: Winarso (1992)

Penyakit daun. Kondisi hujan merupakan faktor penting dalam mempengaruhi timbulnya serangan *Corynespora*. Hasil pengamatan di Balai Penelitian Sembawa Palembang tahun 1984 menunjukkan bahwa epidemi penyakit gugur daun *Corynespora* akan terjadi jika kondisi cuaca agak lembab (curah hujan merata dengan rata-rata per hari 12,4 mm, hari hujan 27 hari dan kelembaban udara nisbi rata-rata per hari 89 % dan suhu udara rata-rata per hari 27° C (Situmorang dan Budiman, 1985). Hujan juga telah mengakibatkan terjadinya ledakan penyakit daun *Colletotrichum* pada tahun 1973-1974 di Sumatera, tahun 1984-1985 di Kalimantan, tahun 1989 di Sumatera dan Kalimantan, tahun 1993 di Sumatera Selatan, dan tahun 1996/1997 di Sumatera Selatan dan Lampung adalah sebagai akibat terjadinya musim hujan yang panjang (Tabel 5) (Situmorang dan Budiman, 1990). Penyakit tepung (gugur daun *Oidium*) akan berhenti jika terjadi hujan cukup banyak sehingga permukaan daun selalu basah (Semangun, 1991).

Penyakit batang dan bidang sadap. Untuk penyakit batang dan bidang sadap, hujan mengakibatkan kondisi lembab yang

memunculkan tumbuhnya jamur yang mengakibatkan terganggunya pemulihan kulit dan rusaknya bidang sadap. Di daerah yang curah hujannya tinggi, *Mouldy rot* sangat merugikan (de Fluiter, 1937, Steinman, 1925). Selanjutnya, air hujan membantu penularan penyakit kanker garis *Phytophthora* dengan cara memencarkan spora jamur tersebut, dan penyakit kanker bercak *phytophthora* akan meluas pada musim hujan (Opeke dan Gorenz, 1974). Hujan juga mengakibatkan spora jamur upas (*Upasia salmonicolor*) aktif kembali setelah dorman pada musim kemarau.

Penyakit akar. Dalam kondisi musim hujan yang panjang/abnormal akan menyebabkan kelembaban tanah tinggi, apalagi pada topografi yang datar, air hujan akan cepat merembes ke bawah dan tersimpan didalamnya, sehingga kelembaban tanah tetap terjaga, tidak terlalu basah atau tidak tergenang, dan kondisi seperti ini sangat sesuai bagi perkembangan patogen akar. Penyakit akar putih akan mengakibatkan kerusakan berat pada kebun karet yang tanahnya gembur, berpasir, agak basa serta bergelombang atau berbukit. Tetapi sebaliknya pada kebun karet yang tanahnya



Gambar 1. Daur besar suatu penyakit (Agrios, 2005)

padat dan landai, lahan tergenang dan sangat basah dalam waktu lama pada musim hujan yang panjang, akan mengakibatkan perkembangan jamur akar tertekan. Miselia jamur akan rusak dan busuk dalam kondisi anaerob (Situmorang, 2004).

Model Analisis Hubungan Faktor Iklim dan Epidemiologi Penyakit Tanaman

Secara umum, diperlukan tiga kondisi dalam waktu bersamaan untuk terjadinya suatu epidemik penyakit, yaitu : 1) inang harus dalam fase rentan, 2) populasi harus dalam tingkat tertentu dan inokulum patogennya harus virulen, dan 3) kondisi lingkungan harus sesuai untuk reproduksi, penyebaran, dan infeksi patogen, terutama faktor lingkungan berupa suhu, kelembaban, pH, angin, vektor dan keberadaan agen antagonis yang mematenkan atau menyebabkan statis (Sinaga, 2003).

Analisis suatu epidemik sangat dibutuhkan karena merupakan suatu cara untuk mendapatkan informasi yang akan menjadi dasar untuk melakukan pengendalian dan mengetahui rangkaian daur besar (*grand cycle*) suatu penyakit (Gambar 1). Analisis epidemik ini dapat dilakukan dengan berbagai metode yang akhirnya bertujuan untuk mengetahui diagnosis atau pengukuran suatu penyakit. Diagnosis ini berfungsi untuk mengukur perkembangan epidemik secara kuantitatif dan mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan penyakit, misalnya faktor iklim yaitu suhu, kelembaban dan curah hujan.

Model analisis matematik dalam hubungan antara faktor iklim dan epidemiologi penyakit tanaman telah banyak dikembangkan. Perkembangan model analisis ini sangat cepat sejak tahun 1970-an sampai sekarang sehubungan dengan makin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang biometrik, meteorologi/sensor cuaca, komputer dan

bidang lainnya yang terkait. Dengan ilmu pengetahuan dan teknologi tersebut dengan mudah didapatkan parameter matematik dan grafik tentang hubungan faktor iklim dan perkembangan penyakit tanaman tersebut. Hal ini sangat membantu dalam mengembangkan manajemen pengendalian penyakit.

Berikut akan dijelaskan beberapa metode analisis yang dapat digunakan untuk menjadi dasar peramalan epidemi penyakit pada tanaman karet.

Metode peramalan epidemi untuk penyakit daun

Gugur daun *Corynespora*, *Colletotrichum* dan *Helminthosporium* merupakan penyakit yang berupa gejala becak. Fungsi ini dapat digunakan untuk penyakit dengan gejala tersebut. Fungsi ini pernah dikembangkan pada *Colletotrichum acutatum* pada buah arbei. Fungsi ini lebih memperhatikan faktor suhu yang mempengaruhi perkembangan penyakit. Fungsi tersebut disebut dengan fungsi TE (Friesland and Schrodter, 1988), dengan persamaan berikut;

$$y = \sin^2(a_1x + a_2x^2 + a_3x^3) \dots\dots (1)$$

Dimana y adalah laju perkembangan relatif penyakit pada suhu optimum dan x adalah ekuivalen suhu yang ditunjukkan seperti persamaan berikut;

$$x = (T_i - T_{\min}) : (T_{\max} - T_{\min}) \dots\dots (2)$$

Dimana T_i adalah suhu aktual, T_{\max} adalah suhu maksimum dan T_{\min} adalah suhu minimum untuk perkembangan penyakit. a dapat ditentukan dari $y = 1$ jika $T_i = T_{\text{opt}}$ dan $X = 1$ jika $T_i = T_{\max}$. Fungsi tersebut cocok digunakan untuk perkembangan peramalan epidemi penyakit daun.

Metode lain yang dapat digunakan untuk peramalan epidemi penyakit daun pada karet, dapat dilakukan dengan memperhatikan

kondisi kelembaban relatif (90%). Dalam epidemiologi penyakit, lamanya (jam) kelembaban relatif 90% sangat penting karena berhubungan dengan kebasahan daun. Lama kelembaban relatif tersebut dapat dihitung, misalnya stadia perkembangan patogen (a) dan stadia perkecambahan (b) memerlukan masing-masing 4 jam dan kurang dari 10 jam kelembaban tinggi secara terus menerus di atas 90 %, maka variabel bebas biometeorologi dapat dirumuskan dengan nilai satuan jam (Carisse *et al.*, 1993) berikut :

$$H_a = n_{F4}/N \text{ dan } H_b = n_{F10}/N \dots\dots (3)$$

Dimana n_{F4} menyatakan jumlah nilai jam di atas kelembaban relatif 90 % pada periode kurang dari 4 jam dan n_{F10} menyatakan jumlah jam di atas kelembaban relatif 90 % pada periode kurang dari 10 jam. N adalah jumlah total nilai jam.

Lim (1972) menyusun suatu cara untuk meramalkan datangnya epidemi penyakit gugur daun *Oidium* pada karet. Berdasarkan

penelitian di laboratorium diketahui bahwa ketahanan *Oidium* sangat mundur dalam udara kering pada suhu di atas 32°C. Infeksi paling banyak terjadi pada suhu 23-25°C, sedangkan di atas 32°C tidak akan terjadi infeksi. Periode infeksi akan terjadi jika suhu kurang dari 32°C dan kelembaban nisbi 90% atau lebih selama kurang-kurangnya 13 jam terus-menerus. Daun-daun muda akan gugur 7-10 hari sesudah periode infeksi tadi (7-10 hari adalah masa inkubasi penyakit).

Beberapa metode yang sudah dikembangkan untuk meramalkan penyakit daun:

1) Metode pengamatan langsung dengan memantau perkembangan penyakit secara dini pada daun di pertanaman

Pengamatan dilaksanakan pada daun, dengan memperhatikan gejala bercak dan massa spora pada daun yang berumur kurang dari 15 hari yaitu 5 hari pada waktu kuncup



Gambar 2. Sensor terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pengukuran tekanan udara, suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin, radiasi matahari, serta curah hujan yang dapat merekam secara otomatis.

membuka (*bud break*) dan 10 hari pertama pada waktu daun berkembang. Selain pada daun, pengamatan dilakukan juga pada ranting, karena *Colletotrichum* dapat menyerang ranting dan menyebabkan mati ujung, semakin banyak bercak dan massa spora maka semakin besar kemungkinan terjadinya epidemi (Wastie R L, 1972).

2) Metode pengamatan dengan menggunakan model analisis data iklim

Metode peramalan epidemi dengan menggunakan unsur iklim ini dapat menggunakan alat pengukur dari stasiun pengambilan data iklim yang akurat. Pada stasiun klimatologi konvensional pengambilan data iklim sangat terbatas karena pengamatan dilakukan hanya 3 kali sehari yaitu pukul 7:30 pagi, 13:30 siang dan sore pukul 17:30, sehingga untuk kepentingan peramalan epidemi penyakit kurang memadai. Saat ini, telah terdapat sistem pengamatan iklim secara otomatis yang disebut AWS (*Automatic Weather Station*).

AWS merupakan peralatan yang mampu merekam unsur-unsur cuaca secara kontinyu, sistem ini dirancang untuk pengumpulan data cuaca secara otomatis. AWS umumnya dilengkapi dengan berbagai sensor, RTU (*Remote Terminal Unit*), komputer dan unit LED Display. Sensor-sensor yang digunakan meliputi sensor temperatur, arah dan kecepatan angin, kelembaban, presipitasi, tekanan udara, pyranometer dan net radiometer yang tidak hanya tercatat pada waktu tertentu saja tetapi tercatat setiap waktu. Hasil perekaman data AWS dapat dibaca dan sekaligus diketahui hanya dalam waktu kurang dari satu menit. Berdasarkan data iklim dari AWS ini maka peramalan epidemi penyakit dapat dilakukan secara akurat dengan menggunakan metode yang sudah teruji sebelumnya.

3) Metode Peramalan menurut Huysman (1952)

Beliau ahli pertama yang menyusun sistem peramalan pada cacar tanaman teh yang disebabkan oleh *Exobasidium vexans*. Ramalannya didasarkan atas kelembaban udara, yang dianggap sebagai penyebab utama bagi datangnya epidemi. Kelembaban ini dicatat dengan higrograf yang dipasang 2 m dari permukaan tanah. Dalam peramalannya digunakan angka kelembaban nisbi (*relative*) harian rata-rata selama 5 hari. Angka kelembaban harian dihitung dengan mengukur kelembaban udara pada pukul 6, 8, 10, 12, 14 dan 18, dijumlahkan dan dibagi dengan 7. Jadi kalau misalnya angka kelembaban pada pukul 6 disebut k_6 , maka $k_a = (k_6 + k_8 + k_{10} + k_{12} + k_{14} + k_{16} + k_{18}) : 7$. Kelembaban rata-rata selama 5 hari pada tanggal a (k_r) adalah $k_r = (k_{a-4} + k_{a-3} + k_{a-2} + k_{a-1} + k_a) : 5$. Apabila k_r selama 10-14 hari (satu generasi cacar) berada di atas 83% akan timbul epidemi yang sedang, dan epidemi ini akan berhenti bila k_r selama 3-5 hari kurang dari 83%. Apabila k_r selama 20-24 hari (dua generasi) dia atas 83% dan di antaranya ada yang lebih tinggi dari 88%, maka akan timbul epidemi yang berat, yang berlangsung 2-3 hari. Jika dalam masa tersebut terdapat satu atau beberapa hari yang k_r -nya kurang dari 83%, maka epidemi akan diperlemah dan makin panjang masa kelembaban rendah ini, maka akan makin lemah pula epideminya. Lembaga penelitian dapat memberitahukan ramalannya 4 hari sebelum datangnya epidemi. Apabila selama 3 hari k_r kurang dari 83%, usaha pencegahan dapat dihentikan.

Kelemahan metode ini yaitu berdasarkan peramalan Huysman ini dibutuhkan pengamatan kelembaban selama 5 hari, namun hal ini dianggap kurang praktis karena terkadang kelembaban yang terekam tidak secara kontinyu, sehingga masa kritis bagi

perkembangan penyakit kurang dapat diketahui dengan pasti, yang dikhawatirkan pengendalian penyakit terlambat disaat penyakit telah mengalami ledakan epidemi. Namun, dengan menggunakan AWS hal ini bisa diatasi karena unsur iklim terekam secara kontinyu.

4) Metode Peramalan menurut Gleatson *et al.* (2008) dengan sistem TOM-CAST.

Peramalan dilakukan oleh kelompok petani tanaman tomat dengan menggunakan AWS untuk merekam data suhu, curah hujan, kelembaban dan lama kebasahan daun (LWD) secara kontinyu. Alat dipasang pada 13 stasiun pengukuran cuaca pada tiga negara dengan radius 16 km dari stasiun terdekat agar diperoleh data yang komprehensif. Pada saat kondisi iklim kondusif atau masa kritis bagi epidemi penyakit, maka saat itu pula dilakukan pencegahan dengan penyemprotan fungisida. Kelebihan metode ini yaitu 1) dapat melakukan pengendalian tepat waktu sehingga resiko kerugian akibat serangan penyakit dapat dihindari, 2) menghindari biaya pembelian fungisida yang terbuang sia-sia jika epidemi penyakit tidak terjadi.

Metode peramalan epidemi untuk penyakit akar

Pada penyakit akar, rhizomorf dapat tumbuh beberapa meter di dalam tanah dan mengadakan infeksi pada akar tumbuhan yang rentan. Untuk penyebaran lokal, rhizomorf lebih efektif daripada spora. Pada karet, penyakit akar umumnya disebabkan karena sumber infeksi yang berasal dari tunggul atau sisa tanaman dan kayu hutan primer pada saat penanaman ulang/peremajaan. Diantara tunggul ini terdapat beberapa tunggul yang telah terinfeksi jamur akar dan menjadi sumber penularan yang sangat efektif.

Peramalan penyakit akar putih pada karet dapat dilakukan dengan menghitung jumlah tanaman mati pada tahun tertentu.

Jika suatu pohon dalam kebun terinfeksi kemudian mati maka kematian tanaman dari periode tertentu (Situmorang, 2004) dapat dihitung berdasarkan pola regresi berikut :

$$Y = 0.51 + 0.23T + 0.04T^2 \dots\dots (4)$$

Y = jumlah tanaman mati pada tahun tertentu dan T = periode setelah kematian pohon pertama. Hasil pengamatan pada kebun bertunggul yang berasal dari tanaman karet tua atau hutan primer menunjukkan bahwa laju perkembangan kematian tanaman sangat cepat. Hal ini disebabkan tunggul-tunggul terinfeksi sebagai sumber infeksi jamur cukup banyak tersebar dalam kebun. Pada kebun bekas hutan primer, kematian tanaman dapat mencapai 9 % dalam periode 8 tahun. Laju kematian tanaman tersebut mengikuti pola regresi $Y = 7.09 - 2.23 T + 0.32T^2$ (Y = persentase tanaman mati pada tahun tertentu dan T = tahun setelah tanam). Kematian tanaman oleh penyakit akar putih telah mencapai 25 – 30% pada umur tanaman 13 tahun, dan kebun lain mencapai 35 – 40% pada umur 17 tahun sehingga harus diremajakan karena telah mengalami kerugian (Situmorang, 2004)

Laju kematian tanaman berdasarkan pola regresi tersebut akan terus bertambah tanpa batas, namun apabila dilakukan pengendalian/tindakan pencegahan maka kematian tanaman dapat ditekan. Pengendalian/pencegahan penyakit akar putih dapat menggunakan belerang, jamur antagonis *Trichoderma* dan fungisida kimia.

Peramalan epidemiologi untuk penyakit akar merah dapat dihitung dengan pola penyakit berbunga sederhana (*simple interest disease*). Pola ini pernah dikembangkan pada penyakit akar merah (*Ganoderma pseudoferum*) pada tanaman teh (Agrios, 2005). Pola tersebut sebagai berikut:

$$X_t = x_0 + x_0rt \dots\dots (5)$$

$$X_t = x_0 (1 + rt) \dots\dots (6)$$

Pada penyakit berbunga sederhana, jumlah tanaman sakit, x_t , setelah jangka waktu t , adalah sama dengan jumlah tanaman sakit mula-mula, x_0 , ditambah dengan laju infeksi, r , kali x_0 , dikalikan dengan t .

Metode peramalan epidemi untuk penyakit bidang sadap dan batang

Penyakit bidang sadap pada karet seperti *Mouldy rot (Ceratomyces fimbriata)*, kanker becak dan kanker garis *Phytophthora* umumnya akan menghebat pada musim hujan atau pada daerah yang memiliki curah hujan yang tinggi. *Phytophthora palmivora* pada penyakit bidang sadap ditularkan dengan perantara spora, yang dipencarkan oleh angin dan air hujan. Percikan air hujan dari tanah dapat membawa jamur, sehingga makin rendah irisan sadapan, kanker garis makin banyak terjadi (Anom, 1959)

Berdasarkan pencacatan hujan dan hari hujan secara terus menerus maka dapat diketahui intensitas serangan penyakit bidang sadap dengan persamaan (Madden *et al.*, 1996) berikut :

$$\ln(-\ln(1 - y)) = b_0 + b_1R + b_3R^3 \dots \dots (7)$$

Dimana y adalah intensitas serangan patogen (%), R adalah intensitas curah hujan (cm j^{-1}). Intensitas curah hujan ($\text{ml cm}^{-2} \text{j}^{-1}$) didasarkan perkiraan parameter $\{[-b_1/(3b_3)]^{1/2}\}$.

Penyakit jamur upas (*Upasia salmonicolor*) yang menyerang batang cabang merupakan penyakit berbunga majemuk (*compound interest disease*) yang ditularkan dengan perantara spora yang dipencarkan oleh angin atau spora udara. Spora tersebar disekeliling kebun dan jumlah tanaman sakit sangat cepat bertambah, maka pola perkembangannya (Agrios, 2005) adalah berikut:

$$X_t = x_0 \cdot e^{rt} \dots \dots (8)$$

X_t = banyaknya tanaman sakit setelah jangka waktu t , x_0 = banyaknya tanaman sakit mula-mula ($t = 0$), e = bilangan alam (2,7182), r = laju infeksi, tambahan tanaman sakit per satuan waktu, t = jangka waktu berlangsungnya epidemi.

Berdasarkan pola tersebut, maka epidemi akan berkembang tanpa batas, populasi patogen bertambah sampai tidak terhingga, perkembangannya mengikuti kurva J. Namun, ini tidak mungkin, penyakit jamur upas hanya menghebat pada saat musim hujan. Pada saat penyakit tidak berkembang tidak pada waktunya, maka laju infeksi (r) akan mendekati nol. Dengan demikian maka perkembangan akan mengikuti kurva sigmoid, atau kurva-s. Penyakit berbunga sederhana maupun penyakit berbunga majemuk, agar jumlah tanaman sakit setelah berlangsungnya epidemi (x_t) dapat ditekan, perlu diusahakan secara terpadu agar X_0 , r , dan t sekecil mungkin (Sinaga M S, 2004).

Kesimpulan

Faktor suhu, kelembaban dan curah hujan merupakan faktor yang sangat penting di antara faktor iklim lainnya dalam epidemiologi penyakit tanaman. Hubungan faktor iklim dengan perkembangan penyakit tanaman dapat dirumuskan dengan model analisis dengan memantau perkembangan penyakit secara dini pada daun di pertanaman, metode pengamatan dengan menggunakan model analisis data iklim, metode peramalan menurut Huysma, metode menurut Gleason dengan sistem TOM-CAST dan model lainnya tergantung jenis penyakit. Model analisis ini berguna untuk meramalkan timbulnya epidemipenyakit tanaman. Data iklim yang diperoleh dapat meramalkan timbulnya suatu penyakit sehingga tingkat serangan penyakit

dapat diminimalisir karena strategi pengendalian penyakit tanaman dapat ditentukan dengan cepat.

Daftar Pustaka

- Achmad, S. R., & Putra, R. C. (2016). Pengelolaan lengas tanah dan laju pertumbuhan tanaman karet belum menghasilkan pada musim kemarau dan penghujan. *Warta Perkaratan*, 35(1), 1-10.
- Al-Zalzelah, H. (2013). The effect of container type and soil substrates on growth and establishment of selected landscape trees. *Scientific Papers. Series B, Horticulture*, 57, 255–260.
- Arancon, N. Q., Lee, S., Edwards, C. A., & Atiyeh, R. (2003). Effects of humic acids derived from cattle, food and paperwaste vermicomposts on growth of greenhouse plants. *Pedobiologia*, 47(5-6), 741-744.
- Ardika, R., Cahyo, A. N., & Wijaya, T. (2011). Wintering and yield dynamics on various rubber clones and their relationship to soil water content. *Indonesian Journal of Natural Rubber Research*, 29(2), 102-109.
- Ardika, R., & Herlinawati, E. (2014). Alternative of rubber planting material supply with root trainer system. *Warta Perkaratan*, 33(2), 73–78.
- Arenas, M., Vavrina, C. S., Cornell, J. A., Hanlon, E. A., & Hochmuth, G. J. (2002). Coir as an alternative to peat in media for tomato transplant production. *HortScience*, 37(2), 309–312.
- Atiyeh, R., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresour Technol*, 84(1), 7-14.
- Bahari, Z. A., & Samsuddin, Z. (1984). Possible usage of photosynthetic rates and drought resistance in early selection of hevea: *Compte-Rendu Du Colloque. Exploitation-Physiologie et Amelioration de l'Hevea*. Diakses dari Montpellier-France IRCA, CIRAD.
- Basumatary, N., Parkash, V., Tamuli, A. K., Saikia, A. J., & Teron, R. (2014). Arbuscular mycorrhizal inoculation affects growth and rhizospheric nutrient availability in *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Mull. Arg. clones. *International Journal of Current Biotechnology*, 2(7), 14-21.
- Bonfante, P., & Genre, A. (2010). Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nat Commun*, 1(4), 1-11. doi:10.1038/ncomms1046.
- Bottomley, W. B. (1917). Some effects of organic promotion substances (auxinomones) on the growth of *Lemna minor* in mineral cultural solutions. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 89(621), 481–507.
- Brownell, J. R., Nordstrom, G., Marihart, J., & Jorgensen, G. (1987). Crop responses from two new leonardite extracts. *Science of The Total Environment*, 62, 491-499.
- Cahyo, A. N., Ardika, R., Saputra, J., & Wijaya, T. (2014). Acceleration on the growth of rubber planting materials by using foliar application of humic acid. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 36(2), 112-119. doi:10.17503/Agrovita-2014-36-2-p112-119.
- Cahyo, A. N., Ardika, R., & Wijaya, T. (2011). Water consumption and rubber production on various planting space arrangement system and their relationship with soil water content. *Indonesian Journal of Natural Rubber Research*, 29(2), 110 - 117. doi:10.22302/jpk.v29i2.243.
- Cahyo, A. N., Sahuri, Nugraha, I. S., & Ardika, R. (2019). Cocopeat as Soil Substitute Media for Rubber (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) Planting Material. *Journal of Tropical Crop Science*, 6(1), 24-29.

- Cahyo, A. N., Saputra, J., Stevanus, C. T., & Sahuri. (2016). Penggunaan root trainer untuk meningkatkan pertumbuhan bibit karet. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 35(1), 17–24. doi:10.21082/jp3.v35n1.2016.p17-24.
- Carr, M. K. V. (2012). The water relations of rubber (*Hevea brasiliensis*): A review. *Experimental Agriculture*, 48(02), 176–193. doi:10.1017/S0014479711000901.
- Chalker-Scott, L. (2007). Impact of mulches on landscape plants and the environment—a review. *Journal of Environmental Horticulture*, 5(4), 239–249.
- Chen, Y., & Aviad, T. (1990). Effects of humic substances on plant growth. In P. MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm, & P. R. Bloom (Eds.), *Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings* Madison, WI: ASA and SSSA.
- Chen, Y., De Nobili, M., & Aviad, T. (2004). Stimulatory effects of humic substances on plant growth. *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Cochrane, T. T., & Cochrane, T. A. (2009a). Differences in the way potassium chloride and sucrose solutions effect osmotic potential of significance to stomata aperture modulation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(3), 205–209. doi:10.1016/j.plaphy.2008.11.006.
- Cochrane, T. T., & Cochrane, T. A. (2009b). The vital role of potassium in the osmotic mechanism of stomata aperture modulation and its link with potassium deficiency. *Plant signaling & behavior*, 4(3), 240–243. doi:10.4161/psb.4.3.7955.
- Cordeiro, F. C., Santa-Catarina, C., Silveira, V., & Souza, S. R. d. Humic acid effect on catalase activity and the generation of reactive oxygen species in corn (*zea mays*). *Biosci Biotechnol Biochem*, 75(1), 70–74. doi:10.1271/bbb.100553.
- Devakumar, A. S., Rao, G. G., Rajagopal, R., Rao, P. S., George, M. J., Vijayakumar, K. R., & Sethuraj, M. R. (1988). Studies on soil-plant-atmosphere system in Hevea: II. Seasonal effects on water relations and yield. *Indian Journal of Natural Rubber Research*, 1(2), 45–60.
- Din, J., Khan, S. U., Ali, I., & Gurmani, A. R. (2011). Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 21(1), 78-82.
- Elmongy, M. S., Zhou, H., Cao, Y., Liu, B., & Xia, Y. (2018). The effect of humic acid on endogenous hormone levels and antioxidant enzyme activity during in vitro rooting of evergreen azalea. *Scientia Horticulturae*, 227, 234–243. doi:10.1016/j.scienta.2017.09.027.
- Evans, M. R., & Stamps, R. H. (1996). Growth of bedding plants in sphagnum peat and coir dustbased substrates. *Journal of Environmental Horticulture*, 14, 187-190.
- Falqueto, A. R., da Silva Júnior, R. A., Gomes, M. T. G., Martins, J. P. R., Silva, D. M., & Partelli, F. L. (2017). Effects of drought stress on chlorophyll a fluorescence in two rubber tree clones. *Scientia Horticulturae*, 224, 238–243. doi:10.1016/j.scienta.2017.06.019.
- Fang, Y., & Xiong, L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 72(4), 673–689. doi:10.1007/s00018-014-1767-0.
- Fernández-Escobar, R., Benlloch, M., Barranco, D., Dueñas, A., Fernández-Escobar, R. M., Benlloch, D., . . . Gutiérrez Gañán, J. A. (1996). Response of olive trees to folk application of humic substances extracted from leonardite. *Scientia Horticulturae*, 66(191-200).

- Fikret, Y., Manar, T., Şebnem, E., Şebnem, K., & Özlem, U. (2013). Sod, cat, gr and apx enzyme activities in callus tissues of susceptible and tolerant eggplant varieties under salt stress. *Research Journal of Biotechnology*, 8(11), 45–51.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchel, R. L. (1991). *Physiology of Crop Plant (Fisiologi Tanaman Budidaya, translation H. Susilo)*. Jakarta, Indonesia: UI Press.
- George, S., John, J., Joseph, P., Philip, A., & Punnoose, K. I. (2005). Impact of conservation pits on growth and yield of mature rubber. *Journal of Rubber Research*, 10(1), 44-53.
- Hamim, H., Violita, V., Triadiati, T., & Miftahudin, M. (2017). Oxidative stress and photosynthesis reduction of cultivated (glycine max l.) and wild soybean (g. Tomentella l.) exposed to drought and paraquat. *Asian Journal of Plant Sciences*, 16(2), 65-77. doi:10.3923/ajps.2017.65.77
- Herrmann, L., Bräu, L., Robin, A., Robain, H., Wiriyakitnateekul, W., & Lesueur, D. (2015). High colonization by native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) of rubber trees in small-holder plantations on low fertility soils in North East Thailand. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(7), 1041–1048. doi:10.1080/03650340.2015.1110238.
- Herrmann, L., Lesueur, D., Bräu, L., Davison, J., Jairus, T., Robain, H., . . . Öpik, M. (2016). Diversity of root-associated arbuscular mycorrhizal fungal communities in a rubber tree plantation chronosequence in Northeast Thailand. *Mycorrhiza*, 26(8), 863–877. doi:10.1007/s00572-016-0720-5.
- Hutasoit, J., Hanum, C., & Ginting, J. (2015). Kadar n tanah dan daun serta klorofil karet umur sembilan tahun dengan penempatan mulsa vertikal pada rorak. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 3(4), 1266-1270.
- Ikram, A., Mahmud, A. W., Ghani, M. N., Ibrahim, M. T., & Zainal, A. B. (1992). Field nursery inoculation of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. seedling rootstock with vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi. *Plant and soil*, 145, 231–236.
- Ingram, D. L., Henley, R. W., & Yeager, T. H. (1993). Growth media for container grown ornamental plants. *University of Florida Bulletin*, 241, 1-16.
- Inonu, I., Budianta, D., Umar, M., Yakup, & Wiralag, A. Y. A. (2011). ubber clone response on irrigation frequency in sand tailing medium post thin mining. *Journal of Agronomy Indonesia*, 39(2), 131-136.
- Jafari, M., Haghighi, J. A. P., & Zare, H. (2012). Mulching impact on plant growth and production of rainfed fig orchards under drought conditions. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(1), 428–433.
- Jessy, M. D., Mathew, M., Jacob, S., & Punnoose, K. I. (1994). Comparative evaluation of basin and drip irrigation systems of irrigation in rubber. *Indian Journal Natural Rubber Research*, 7(1), 51–56.
- Jumpponen, A. (2001). Dark septate endophytes - are they mycorrhizal? *Mycorrhiza*, 11(4), 207–211. doi:10.1007/s005720100112.
- Karyudi. (2001). Rubber (*Hevea brasiliensis*) osmoregulation as the respons to water stress I : Variation between recommended, expected, and germplasm. *Indonesian Journal of Natural Rubber Research*, 19(1-3), 1–17.
- Khanna-Chopra, R. M., Yasudev, S., Maheswari, M., Srivastava, A., & Bahukhandi, D. (1994). K+, Osmoregulation and Drought Tolerance - An Overview. *Proceeding of Indian National Science Academy*, 61(1), 51-56.
- Kholová, J., Hash, C. T., Kočová, M., & Vadez, V. (2011). Does a terminal drought tolerance QTL contribute to differences in

- ROS scavenging enzymes and photosynthetic pigments in pearl millet exposed to drought? *Environmental and Experimental Botany*, 71(1), 99–106. doi:10.1016/j.envexpbot.2010.11.001.
- Lawlor, D. W. (2013). Genetic engineering to improve plant performance under drought: physiological evaluation of achievements, limitations, and possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 64(1), 83–108.
- Leach, J. E., Triplett, L. R., Argueso, C. T., & Trivedi, P. (2017). Communication in the Phytobiome. *Cell*, 169(4), 587–596. doi:10.1016/j.cell.2017.04.025.
- Leclercq, J., Martin, F., Sanier, C., Clément-Vidal, A., Fabre, D., Oliver, G., . . . Montoro, P. (2012). Over-expression of a cytosolic isoform of the HbCuZnSOD gene in *Hevea brasiliensis* changes its response to a water deficit. *Plant Molecular Biology*, 80(3), 255–272. doi:10.1007/s11103-012-9942-x.
- Lucas, W. J. (1987). Functional aspects of cells in root apices. In P. J. Gregory, J. V. Lake, & A. Rose (Eds.), *Root Development and Functions* (pp. 123–136). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Luke, L. P., Mohamed Sathik, M. B., Thomas, M., Kuruvilla, L., Sumesh, K. V., & Annamalainathan, K. (2015). Quantitative expression analysis of drought responsive genes in clones of *Hevea* with varying levels of drought tolerance. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 21(2), 179–186. doi:10.1007/s12298-015-0288-0.
- Luo, L. J. (2010). Breeding for water-saving and drought-resistance rice (WDR) in China. *Journal of Experimental Botany*, 61(13), 3509–3517. doi:10.1093/jxb/erq185.
- Majewska, M. L., Błaszowski, J., Nobis, M., Rola, K., Nobis, A., Łakomic, D., . . . Zubek, S. (2015). Root-inhabiting fungi in alien plant species in relation to invasion status and soil chemical properties. *Symbiosis*, 65(3), 101–115. doi:10.1007/s13199-015-0324-4.
- Mak, S., Chinsathit, S., Pookpakdi, A., & Kasemsap, P. (2008). The effect of fertilizer and irrigation on yield and quality of rubber (*hevea brasiliensis*) grown in chanthaburi province of Thailand. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 42, 226–237.
- Mandyam, K., & Jumpponen, A. (2005). Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. *Studies in Mycology*, 53, 173–189. doi:10.3114/sim.53.1.173.
- Moghadam, H. R. T. (2015). Humic acid as an ecological pathway to protect corn plants against oxidative stress. *Biological Forum – An International Journal*, 7(1), 1704–1709.
- Mullan, G. D., & White, P. J. (2001). *Seedling Quality: Making informed choices*. Wheatbelt, Australia: Bushcare and the Department of Conservation and Land Management.
- Murtillaksono, K., Siregar, H. H., & Darmosarkoro, W. (2007). Water balance model in oil palm plantation. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 15(1), 21–35.
- Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F., & Nardi, S. (1999). Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 1303–1311.
- Muscolo, A., Cutrupi, S., & Nardi, S. (1998). IAA detection in humic substances. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(8/9), 1199–1201.
- Muthana, K. D., Meena, G. L., Bhatia, N. S., & Bhatia, O. P. (1984). Root system of desert tree species. *My Forest*, 3, 27–36.
- Nabayi, A., Teh, C. B. S., Husni, M. H. A., Jaafar, A. H., & Isnar, M. S. (2016). Comparison of three irrigation systems for the bx-1 system for nursery seedlings. *Malaysian Journal of Soil Science*, 20, 19–36.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11), 1527–1536.

- Nazari, F., Faarahmand, H., Kosh-Khui, M., & Salehi, H. (2011). Effects of coir as component of potting media on growth, flowering a physiological characteristics of hyacinth (*Hyacinthus orientalis* L. cv. Sonbol-e-Irani). *International Journal of Agriculture and Food Science*, 1(2), 34-38.
- Noeralam, A. S., Arsyad, S., & Iswandi. (2003). Teknik pengendalian aliran permukaan yang efektif pada usaha tani lahan kering belerang. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, 5(1), 3-16.
- Nugroho, P. A., Istianto, Siagian, N., & Karyudi. (2006, 4-5 September). *Potensi (Mucuna bracteata) dalam Pengembalian Hara pada Areal Karet TBM*. Tulisan disajikan pada okakarya Nasional Budidaya Tanaman Karet, Medan.
- Nugroho, P. A. (2017). Pembangunan rorak dan aplikasi tankos di areal perkebunan karet. *Inovasi*, 14(2), 155-161.
- Perry, T. O. (1982). The ecology of tree roots and practical significance. *Journal of Arboriculture*, 8(8), 197-211.
- Porras-Alfaro, A., Herrera, J., Sinsabaugh, R. L., Odenbach, K. J., Lowrey, T., & Natvig, D. O. (2008). Novel root fungal consortium associated with a dominant desert grass. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(9), 2805-2813. doi:10.1128/AEM.02769-07.
- Priyadharsini, P., Pandey, R., & Muthukumar, T. (2012). Arbuscular mycorrhizal and dark septate fungal associations in shallot (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*) under conventional agriculture. *Acta Botanica Croatica*, 71(1), 159-175. doi:10.2478/v10184-011-0058-1.
- Putranto, R.-A., Herlinawati, E., Rio, M., Leclercq, J., Piyatrakul, P., Gohet, E., . . . Montoro, P. (2015). Involvement of ethylene in the latex metabolism and tapping panel dryness of *hevea brasiliensis*. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(8), 17885-17908. doi:10.3390/ijms160817885.
- Qin, J., Wang, X., Hu, F., & Li, H. (2010). Growth and physiological performance responses to drought stress under non-flooded rice cultivation with straw mulching. *Plant, Soil and Environment*, 56(2), 51-59. doi:10.17221/157/2009-PSE.
- Rhodes, D., & Hanson, A. D. (1993). Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 44, 357-384.
- Rożek, K., Rola, K., Błaszowski, J., & Zubek, S. (2018). Associations of root-inhabiting fungi with herbaceous plant species of temperate forests in relation to soil chemical properties. *Science of The Total Environment*, 649, 1573-1579. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.350
- Sahar, A., & Guci, H. (2016). Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza and organic matter on growth of rubber stump (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 9(4), 31-35.
- Samarappuli, L. (1992). Some agronomic practices to overcome moisture stress in *Hevea brasiliensis*. *Indian Journal of Natural Rubber Research*, 5(1&2), 127-132.
- Santos, S. G., dos Silva, P. R. A., da Garcia, A. C., Zilli, J. É., & Berbara, R. L. L. (2017). Dark septate endophyte decreases stress on rice plants. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48(2), 333-341. doi:10.1016/j.bjm.2016.09.018.
- Saputra, J., Stevanus, C. T., & Cahyo, A. N. (2016). The Effect of El-Nino 2015 on The Rubber Plant (*Hevea brasiliensis*) Growth in The Experimental Field Sembawa Research Centre. *Widyariset*, 2(1), 37-46. doi:10.14203/widyariset.2.1.2016.37-46.
- Shao, H.-B., Chu, L.-Y., Jaleel, C. A., & Zhao, C.-X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3), 215-225. doi:10.1016/j.crv.2008.01.002.

- Siagian, N. (2001). Potency and Utilization of *Mucuna bracteata* as legume cover crop in rubber plantation. *Warta Perkaratan*, 20(1-3), 32–43.
- Singh, V. P., Singh, S., Prasad, S. M., & Parihar, P. (2017). *Uv-b radiation: From environmental stressor to regulator of plant growth*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Soman, T. A., & Saraswathyamma, C. K. (2005, 6-8 November). *Root trainer planting technique for Hevea and the initial field performance of root trainer plant*. Tulisan disajikan pada International Natural Rubber Conference, Cochín.
- Sosa-Rodriguez, T., Dupré de Boulois, H., Granet, F., Gaurel, S., Melgarejo, L.-M., Carron, M.-P., & Declerck, S. (2013). In vitro mycorrhization of the rubber tree *Hevea brasiliensis* Müll Arg. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 49(2), 207–215. doi:10.1007/s11627-012-9485-5.
- Sukmana, S., Suwardjo, H., Abdurachman, A., & Dai, J. (1986). Prospect of *Flemingia congesta* Roxb. for reclamation and conservation of volcanic skeletal soils. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk*, 4, 50–54.
- Susetyo, I., Nugroho, P. A., & Stevanus, C. T. (2017, 18-20 Oktober). *Potency and management of organic materials in rubber plantation in Indonesia*. Tulisan disajikan pada International Rubber Conference & IRRDB Annual Meetings 2017, Jakarta.
- Symanczik, S., Courty, P.-E., Boller, T., Wiemken, A., & Al-Yahya'ei, M. N. (2015). Impact of water regimes on an experimental community of four desert arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) species, as affected by the introduction of a non-native AMF species. *Mycorrhiza*, 25(8), 639–647. doi:10.1007/s00572-015-0638-3.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant physiology (3rd ed)*. Sunderland, U.K Sinauer Associates Inc.
- Treder, J. (2008). The effects of cocopeat and fertilization on the growth and flowering of oriental lily “star gazer.”. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16, 361–370.
- Trevisan, S., Botton, A., Vaccaro, S., Vezzaro, A., Quaggioti, S., & Nardi, S. (2011). Humic substances affect Arabidopsis physiology by altering the expression of genes involved in primary metabolism, growth and development. *Environmental and Experimental Botany*, 74, 44-45.
- Turner, N. C. (1986). Crop water deficits: A decade of progress. *Advances in Agronomy*, 39, 1-45.
- Ulfa, M., Martin, E., & Waluyo, E. A. (2005, 7 Desember). *Pemanfaatan mikoriza dalam meningkatkan kualitas bibit jenis prioritas Sumatera Selatan*. Tulisan disajikan pada Seminar Hasil-Hasil Penelitian Hutan Tanaman, Banyuasin.
- Varanini, Z., & Pinton, R. (1995). Humic substances and plant nutrition. In U. Lüttge (Ed.), *Progress in Botany* Berlin, Germany: Springer.
- Vergara, C., Araujo, K. E. C., Alves, L. S., Souza, S. R., de, S., L. A , Santa-Catarina, C., . . . Zilli, J. É. (2018). Contribution of dark septate fungi to the nutrient uptake and growth of rice plants. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(1), 67-78. doi:10.1016/j.bjm.2017.04.010.
- Vijayakumar, K. R., Dey, S. K., Chandrasekhar, T. R., Devakumar, A. S., Mohankrishna, T., Rao, P. S., & Sethuraj, M. R. (1998). Irrigation requirement of rubber trees *Hevea brasiliensis* in the subhumid tropics. *Agricultural Water Management*, 35(3), 245-259. doi:10.1016/S0378-3774(97)00019-X.
- Wang, L. (2014). Physiological and molecular responses to drought stress in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 83, 243–249. doi:10.1016/j.plaphy.2014.08.012.
- Waseem, M., Ali, A., Tahir, M., Nadeem, M. A., Ayub, M., Tanveer, A., . . . Hussain, M. (2011). Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. *Continental Journal of Agricultural Science*, 5(1), 10-25.

- Wijaya, T., Cahyo, A. N., & Ardika, R. (2011). *Anticipation and effort to cope with la nina climate anomaly in rubber plantation*. Tulisan disajikan pada Sriwijaya University Agricultural Department Seminar: Role of Science and Technology on Climate Change Anticipation on The Perspective Sustainable Agriculture. , Palembang.
- Wijaya, T., & Lasminingsih, M. (1994). Respons of some rubber clones on drought. *Warta Perkaretan*, 12(3), 1–4.
- Xue, L., Wang, L., Anjum, S. A., Saleem, M. F., Saeed, A., & Bilal, M. F. (2013). Gas exchange and morpho-physiological response of soybean to straw mulching under drought conditions. *African Journal of Biotechnology*, 12(18), 2360–2365.
- Yang, C., Ellouze, W., Navarro-Borrell, A., Taheri, A. E., Klabi, R., Dai, M., . . . Hamel, C. (2014). Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration. In M. Solaiman, L. K. Abbott, & A. Varma (Eds.), *Management of the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Sustainable Crop Production*. Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Yu, Y., & Assmann, S. M. (2016). The effect of NaCl on stomatal opening in Arabidopsis wild type and agb1 heterotrimeric G-protein mutant plants. *Plant signaling & behavior*, 11(2), 1-3.
- Zhan, F., He, Y., Zu, Y., Li, T., & Zhao, Z. (2011). Characterization of melanin isolated from a dark septate endophyte (DSE), *Exophiala pisciphila*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27(10). doi:10.1007/s11274-011-0712-8.