

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Symphylid sebagai Hama

Pada awalnya symphylid memiliki kepentingan ekonomis (*economic important*) yang rendah (Morais dan Silva, 2009), tetapi pada abad awal ke 20 kepentingan ekonomis dari arthropoda ini semakin banyak dirasakan dan dicatat dalam banyak publikasi (Joseph, 2001). Beberapa publikasi yang menunjukkan kepentingan ekonomis dari hewan ini misalnya oleh Brade-Birks pada 1929 (Joseph, 2001), Filinger (1931), Michelbacher (1938), Edwards (1958, 1959a, 1961), Morrison (1961), Swenson (1965), Koontz (1968), Berry & Robinson (1974), Pai & Prabhoo (1991), Umble *et al.* (2006), dan Rusydi *et al.* (2012).

Umumnya spesies symphylid yang dikenali sebagai hama hanya terfokus pada *Scutigereilla immaculata*, namun sebenarnya terdapat cukup banyak spesies yang turut menyebabkan kerusakan pada berbagai tanaman yang telah tercatat.

Beberapa spesies yang tercatat merusak tanaman dengan memakan akar mudanya tertera pada Tabel 2.

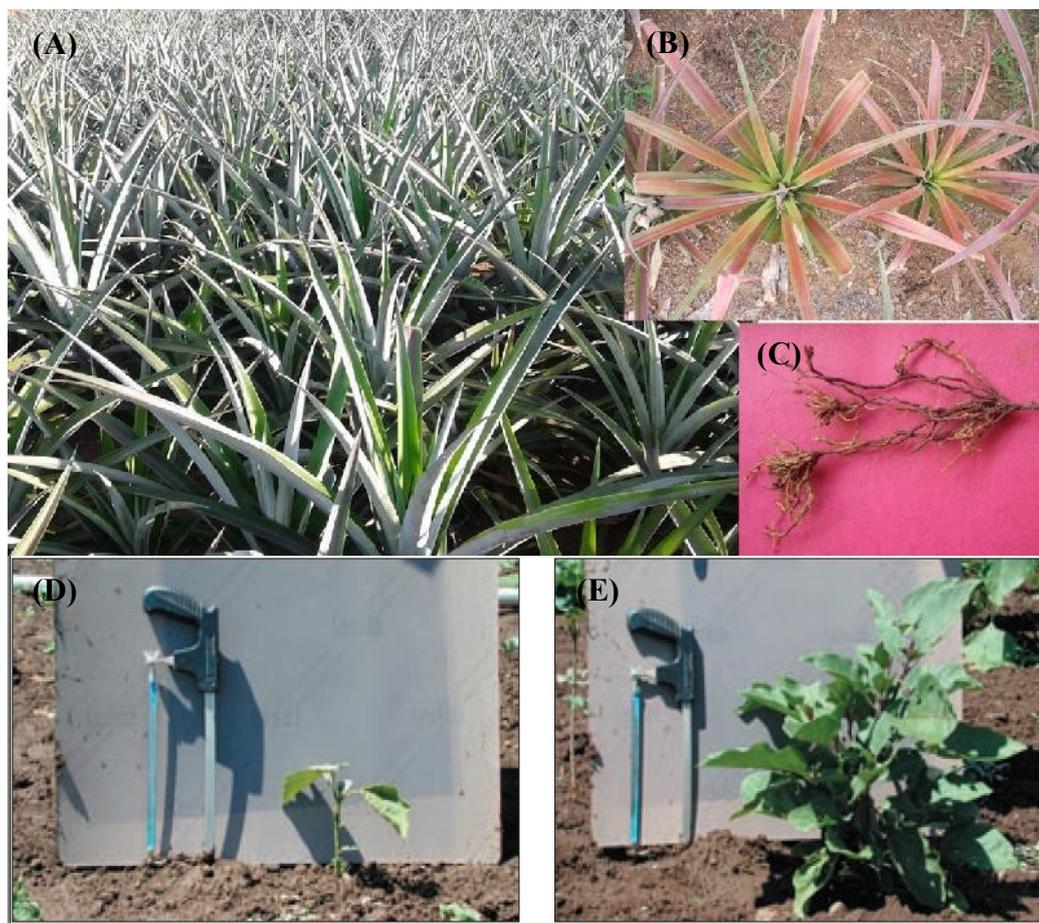
Tabel 2. Spesies symphyliid yang memiliki kepentingan ekonomis.

Tanaman	Spesies	Sumber
Nanas	<i>Scutigerella immaculata</i>	Umble <i>et al.</i> (2006)
	<i>S. sakimurai</i>	Sakimura (1966) dalam Soler <i>et al.</i> (2011)
	<i>Hanseniella unguiculata</i>	Sakimura (1966) dalam Soler <i>et al.</i> (2011)
	<i>H. ivorensis</i>	Juberthie-Jupeau & Kehe (1978) dalam Soler <i>et al.</i> (2011)
	<i>H. colombiana</i>	Juberthie-Jupeau (1997) dalam Soler <i>et al.</i> (2011)
	<i>Hanseniella</i> sp.	Loureiro & Fortes (1972) dalam Morais & Silva (2009)
Kubis	<i>Symphylella tennela</i>	Rohrbach & Johnson (2003)
	<i>S. immaculata</i>	Joseph (2001); Filinger (1931)
Tomat	<i>S. immaculata</i>	Joseph (2001); Filinger (1931); Michelbacher (1938)
Letus	<i>S. lineatus</i>	Joseph (2001)
	<i>S. immaculata</i>	Joseph (2001); Filinger (1931)
Strawberi	<i>S. lineatus</i>	Joseph (2001)
Anyelir	<i>S. immaculata</i>	Joseph (2001); Berry & Robinson (1974)
Padi	<i>S. immaculata</i>	Joseph, 2001; Michelbacher, 1938
Jagung	<i>Hanseniella</i> sp.	Loureiro & Galvao (1970) dalam Morais & Silva (2009)
	Spesies symphyliid	Beeler (1966) dalam Koontz (1968); Michelbacher (1938)
Sawit	<i>S. immaculata</i>	Michelbacher (1938)
Tebu	<i>H. caldaria</i>	Joseph (2001)
Beet	<i>H. unichaetosa</i>	Joseph (2001)
Jambu	<i>H. agilis</i>	Joseph (2001)
	<i>H. unichaetosa</i>	Joseph (2001)

2.2 Gejala kerusakan

Pada dasarnya serangan symphyliid mengakibatkan buruknya kerja sistem akar sehingga pertumbuhan terganggu (Gambar 2D). Pada serangan berat, serangan hama ini dapat mengakibatkan kematian tanaman (Ghidiu, 2005). Gejala yang ditimbulkan oleh symphyliid kerap kali membingungkan, lantaran gejala yang ditunjukkan mirip dengan gejala tanaman yang diserang nematoda atau gejala akibat drainase yang buruk. Gejala yang nampak pada daun berupa perubahan

warna menjadi kuning atau merah (Gambar 2B). Selain itu pada bagian akar, nampak akar tanaman terpotong, rambut akar sangat minim, dan massa akar yang rendah (Gambar 2C). Hal ini disebabkan lantaran hama symphylid menyerang tanaman dengan memakan akar dan rambut akar, bahkan juga menyerang benih-benih sayuran yang ditanam (Ghidiu, 2005).



Gambar 2. Gejala serangan hama symphylid. (A). Lahan pertanaman nanas sehat, (B). Tanaman nanas terserang symphylid, (C). Akar tanaman nanas yang terserang symphylid, (D). Tanaman terung terserang symphylid dan (E). Tanaman terung sehat. [Sumber: (A–B). Rusydi *et al.*, 2012; (D–E) Umble *et al.*, 2006].

2.3 Karakteristik Symphylid

2.3.1 Taksonomi Hama Symphylid

Symphylid digolongkan ke dalam kelas Symphyla. Kelas Symphyla sendiri merupakan bagian dari filum Arthropoda subfilum *Atelocerata* (Myriapoda). Kelas ini hanya memiliki 1 (satu) ordo yakni *Cephalostigmata* Verhoeff, 1934 dan terdiri dari sekitar 160 spesies symphylid (Umble & Fisher, 2003a; Ghidui, 2005; Burden, 2008).

Selain hanya memiliki satu ordo, kelas ini juga hanya terdiri dari dua famili yakni *Scutigerellidae* dan *Scolopendrellidae* (Scheller, 1961). Mayoritas publikasi terfokus pada dua genus yang kerap kali merusak yakni *Scutigerella* dan *Hanseniella* (Camacho, 2009). Semua spesies hama dari kedua genus tersebut tergolong ke dalam famili *Scutigerellidae* (Gambar 3). Secara sederhana *Australian Faunal Directory* (2008) menyusun klasifikasi hama ini seperti berikut:

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Subfilum : Myriapoda
Kelas : Symphyla
Ordo : Cephalostigmata
Superfamili : Scutigerelloidea
Famili : Scutigerellidae Bagnall, 1913

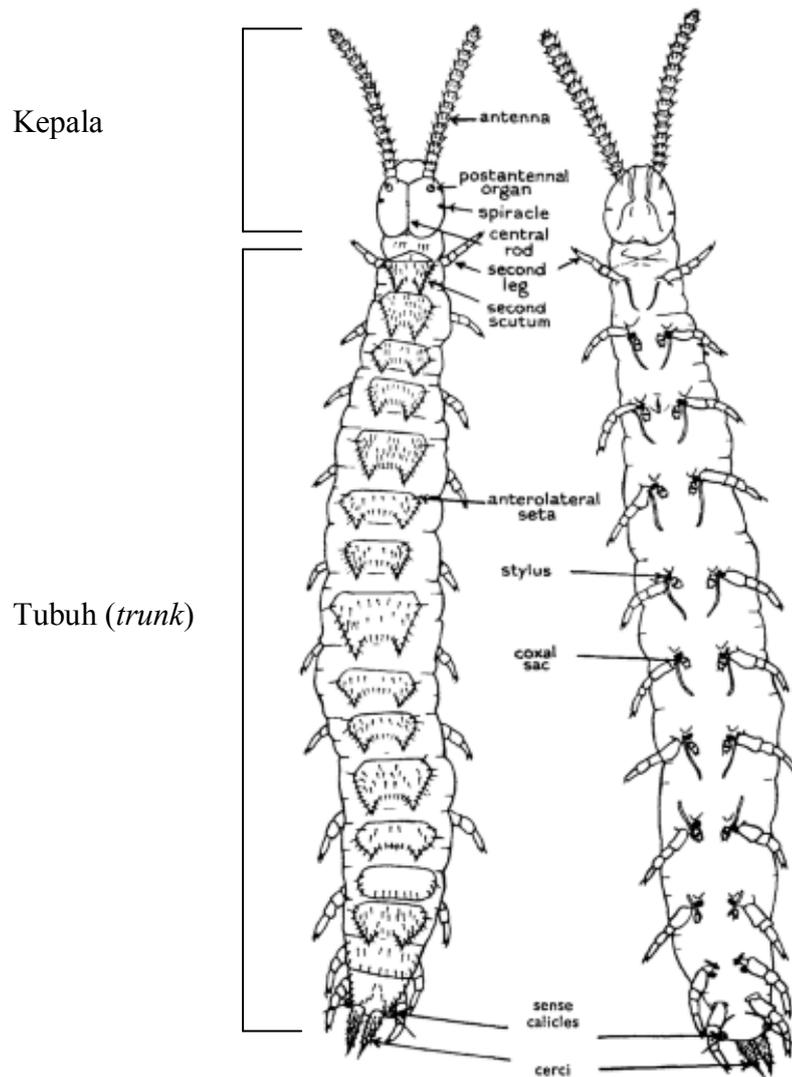


Gambar 3. Salah satu spesies hama symphylid (Cephalostigmata: Scutigrellidae).

2.3.2 Morfologi Eksternal Symphylid

Secara morfologi symphylid menyerupai kelabang yang juga tinggal di dalam tanah (Carr, 2003) karenanya dahulu Michelbacher (1938) menyebutnya sebagai “*garden centipede*”. Namun berbeda dengan kelabang symphylid berwarna putih, dan berukuran kecil dengan panjang tubuh sekitar 3–7 mm. Ia hanya memiliki 11–12 pasang kaki pada saat dewasa (Gambar 4) (Carr, 2003; Edwards, 1990; Berry & Robinson, 1974).

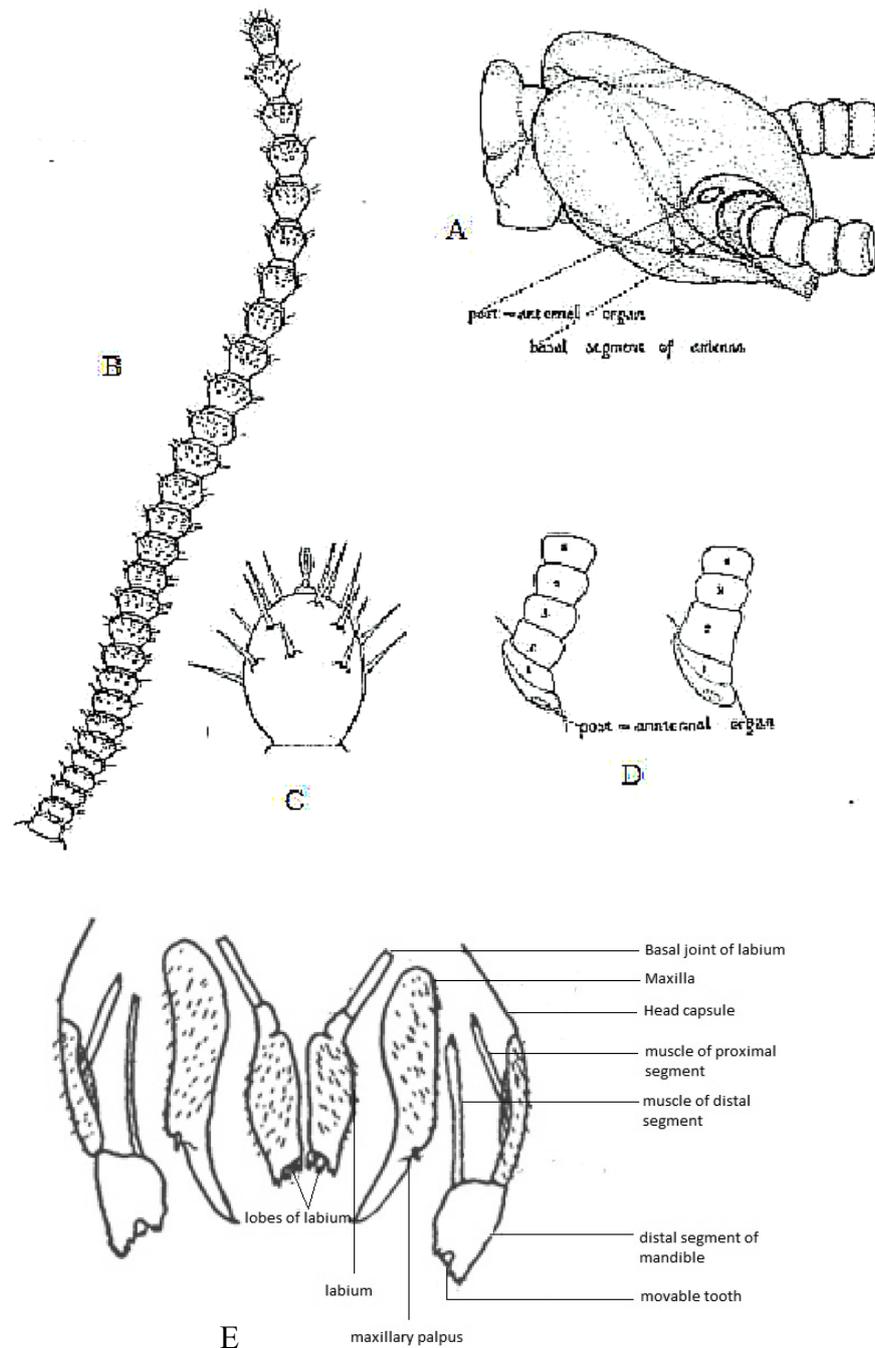
Tubuh symphylid terdiri atas dua tagmata yakni kepala dan tubuh (*trunk*) (Gambar 4). Kepala memiliki beberapa embelan seperti antena dan alat mulut. Tubuh symphylid bersegmen dan memiliki embelan berupa tungkai, stilus, *sense calicle* dan sersi.



Gambar 4. Symphylid dewasa (Famili Scolopendrellidae). A. tampak dorsal, B. tampak ventral. (Sumber : Edwards, 1959b).

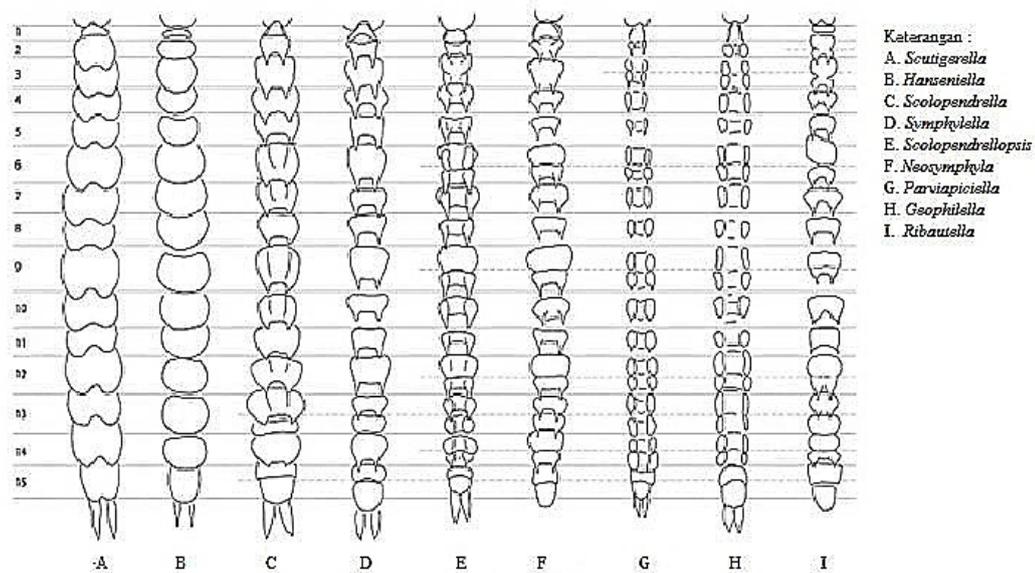
Kepala symphylid berbentuk seperti hati dan terdapat antena serta embelan alat mulut. Tidak terdapat mata pada kepala symphylid tetapi terdapat organ posantennal organ pada basal setiap antena (Gambar 5A). Terdapat satu pasang stigma (bercak) di bawah organ posantennal. Antenna yang dimiliki panjang dan bersambung dengan organ indera pada ujungnya (Gambar 5B–C) dan dapat terdiri lebih dari 60 segmen antena (Edwards, 1990). Symphylid memiliki alat mulut menggigit-mengunyah atau bertipe mandibuta (Edwards, 1990; Filing, 1931).

Struktur alat mulut symphyliid terdiri dari labium, hipofaring, maksila dan mandibel (Szucsich *et al.*, 2011; Filinger, 1931) (Gambar 5E).



Gambar 5. Embelan-embelan pada kepala symphyliid. (A–D). Bagian–bagian antenna. (E). Bagian–bagian alat mulut. [Sumber : (A–D) Michelbacher, 1938; (E) Filinger, 1931)].

Badan (*trunk*) symphyliid dewasa terdiri dari 12 segmen yang terlihat jelas dan telson posterior. Pada permukaan dorsalnya terdapat 15 hingga 22 dorsal skuta dengan ukuran dan pola yang berbeda pada setiap genus (Gambar 6). Tubuhnya terdiri dari 15 segmen tubuh dan terdapat cerci seperti spin di bagian posteriornya (Edwards, 1990).



Gambar 6. Tergum khas beberapa genus symphyliid (Sumber: Camacho, 2009).

2.3.3 Siklus Hidup

Siklus hidup symphyliid dimulai dari fase telur kemudian pradewasa (nimfa) dan fase dewasa. Fase telur symphyliid berakhir setelah menetas pada kisaran 7–20 hari. Setelah menetas symphyliid memasuki fase pra dewasa (nimfa instar 1) kemudian nimfa terus mengalami *molting* (ganti kulit) dengan setiap kali *molting* membutuhkan waktu yang beragam. Setidaknya symphyliid membutuhkan 6 kali *molting* untuk menjadi dewasa, namun pada fase dewasa pun ia tetap mengalami

molting bahkan tercatat dapat mencapai 50 kali (Michelbacher, 1938). Umumnya symphylid membutuhkan waktu sekitar 90 hari untuk menjadi dewasa, hanya saja waktu ini dapat dipengaruhi oleh temperatur lingkungan (Capinera, 2001).

1.3.3.1 Telur

Secara morfologi telur symphylid terlihat unik, selain berukuran sangat kecil dengan diameter 0,5 mm (Filinger, 1931) telur symphylid seperti mutiara putih dan bulat dengan punggung berbentuk heksagonal (Gambar 7A). Warna telur yang putih seperti mutiara tersebut berangsur berubah menjadi gelap sebelum akhirnya menetas (Edwards, 1990).

Umumnya telur diletakkan secara berkelompok seolah menjadi satu paket. Setiap paket dapat terdiri dari 9–25 butir telur. Paket telur ini selalu dilindungi oleh induk betinanya. Karena apabila ditinggalkan telur rentan terserang jamur dan membuat telur tidak menetas. Pada titik ini menunjukkan bahwa symphylid dewasa juga memakan jamur (Edwards, 1990; Joseph, 2001).

Telur memiliki masa inkubasi yang beragam bergantung pada suhu lingkungan. Masa inkubasi telur pada suhu berkisar antara 50° – 70°F sekitar 25 – 40 hari, tetapi penetasan muncul pada kurang lebih 12 hari saat temperatur mencapai 77°F (Berry, 1972 dalam Umble *et al.*, 2006).

2.3.3.2 Pradewasa

Fase pradewasa dimulai setelah telur symphylid menetas dan memasuki fase nimfa instar pertama. Instar pertama muncul dari telur dengan enam (tujuh) pasang kaki dan enam segmen antennal, tubuh mereka ditutupi dengan bulu-bulu halus (Gambar 7A). Pada fase ini panjangnya sekitar 0,75 mm (Filinger, 1931). Gerakannya lambat dan posterior yang membengkak membuat instar pertama kali sepiantas lebih seperti *Collembola* daripada symphylid dewasa. Instar pertama dalam beberapa hari kemudian akan berganti kulit ke instar kedua. Pada instar ini symphylid telah menyerupai symphylid dewasa (Gambar 7C) (Michelbacher, 1938).

2.3.3.3 Dewasa

Fase dewasa symphylid terjadi ketika symphylid memasuki instar ke 7 dengan 6 kali proses ganti kulit. Setiap kali dari enam kali pergantian kulit akan menghasilkan sepasang tungkai dan beberapa segmen tubuh juga segmen antenna. Total waktu dari telur hingga dewasa yang matang secara seksual (instar ke tujuh) adalah sekitar lima bulan pada 50°F, menurun menjadi sekitar tiga bulan pada 70°F dan kurang dari dua bulan pada 77°F. Oleh karena itu, dimungkinkan untuk memiliki dua generasi lengkap setahun (Berry, 1972 dalam Umble *et al.*, 2006). Menariknya, tidak seperti serangga dewasa, yang tidak berganti kulit, symphylid dewasa berganti kulit lebih dari 40 kali (Michelbacher, 1938).



Gambar 7. Fase hidup symphylid. (A). Fase telur, (B). Fase Pradewasa, dan (C). Fase Dewasa.

2.4 Pengendalian Hama Symphylid

2.4.1 Pengendalian Hayati Hama Symphylid

Perkembangan informasi terkait pengendalian hayati symphylid diawali dengan penemuan predator symphylid oleh Menge tahun 1851. Ia mencatat bahwa centipede sejati telah mempredasi “*garden centipede*”. Kemudian Fillingier, Wymore, Savor, dan Waterhouse berturut-turut pada 1828 & 1931, 1931, 1958, dan 1969 melaporkan observasi yang serupa pada total 7 spesies *centipede* (Koontz, 1968; Filingier, 1931; Waterhouse, 1969).

Selanjutnya perkembangan eksplorasi musuh alami symphylid terus berkembang. Wymore pada 1931 melaporkan tungau Gasamid memangsa symphylid. Illingsworth pada 1927–1928 menyatakan bahwa dua spesies dari kumbang telah diketahui memangsa symphylid. Savos pada 1958 melaporkan bahwa millipedes dan *Collembola* memangsa symphylid mati dan telurnya (Koontz, 1968).

Michelbacher (1938) menerangkan bahwa studi terkait musuh alami dari “*garden centipede*” telah terabaikan. Khususnya para parasit sejati dan penyakit dari symphylid itu sendiri. Hingga Getzin pada 1963 menemukan *Entomophthora*

coronata (Constantin) Kevorkian membunuh Symphylan dalam kaleng-kaleng tanah. Getzin dan Shanks pada 1964 melaporkan bahwa kultur jamur *Entomophthora coronata* (Constantin) Kevorkian dan *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin yang diintroduksi ke dalam kaleng-kaleng tanah yang sebelumnya diinfestasi symphylid dan juga pada lahan uji coba dapat bertahan hidup dan menginfeksi symphylid dalam satu atau dua bulan (Koontz, 1968). Setelah itu Swenson (1965) berhasil menemukan bahwa nematoda patogenik DD-136 dapat menginfeksi *S. immaculata*.

Penggunaan agensia hayati berupa predator symphylid, jamur patogen, atau nematoda (Soler *et al.*, 2011) dapat dijadikan teknik pengendalian hayati hama ini. Namun demikian memang masih sedikit informasi yang diketahui terkait kemampuan agensia hayati tersebut dalam mengendalikan kepadatan symphylid (Carr, 2003).

2.4.2 Pengendalian Kimiawi

Berbagai senyawa kimia telah dicoba untuk menengendalikan symphylid dalam 100 tahun terakhir (Howitt & Bullock, 1955 dalam Umble *et al.*, 2006). Sejauh ini, fumigan dan pestisida organofosfat menjadi jenis pestisida yang dianggap efektif (Umble *et al.*, 2006). Morrison (1961) menyebutkan pestisida fumigan yang potensial misalnya Vorlex dan Dichloropropane-dichloropropene *mixture*. Rusydi *et al.* (2012) merekomendasikan menggunakan pestisida berbahan aktif fipronil atau bifenthrin.

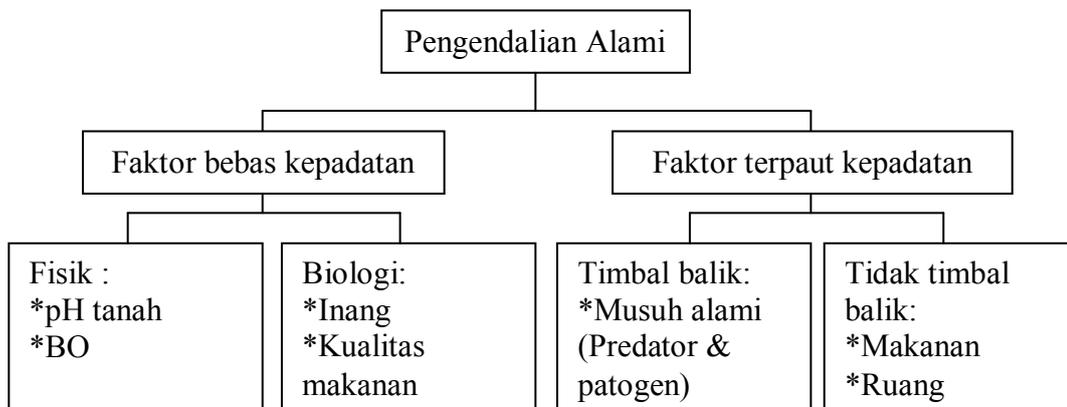
2.5. Populasi Hama dan Faktor yang Mempengaruhinya

Naik turunnya populasi organisme dalam hal ini hama ditentukan oleh dua kekuatan ekosistem yaitu kemampuan hayati atau potensi biotik dan hambatan lingkungan (Untung, 2006). Potensi biotik merupakan kemampuan organisme untuk berkembangbiak dalam kondisi yang normal. Potensi biotik suatu jenis organisme di alam selalu akan dipengaruhi oleh faktor biotik (misalnya, makanan dan pasangan) dan faktor abiotik atau lingkungan fisik (misalnya, temperatur, kelembaban dan intensitas cahaya). Berbagai faktor biotik dan abiotik di ekosistem yang cenderung menurunkan fertilitas dan kelangsungan hidup individu-individu dalam populasi organisme dikenal dengan istilah hambatan lingkungan (Untung, 2006) atau ketahanan lingkungan (*environmental resistance*) (Sembel, 2012).

Terdapat beberapa teori yang muncul untuk menjelaskan faktor apakah yang menentukan kepadatan rata-rata suatu spesies dalam ekosistem, dalam hal ini symphyliid. Pertama, teori biologis, yang menyatakan bahwa di alam terdapat faktor-faktor yang bertaut kepadatan (*density dependent*) yang juga menghalangi kenaikan populasi dan menentukan kepadatan rata-rata pada banyak spesies populasi (Oka, 2005). Faktor-faktor yang dimaksud adalah musuh alami dari symphyliid. Secara teoritis, musuh alami tersebut merupakan faktor yang juga memiliki hubungan timbal balik dan bertaut kepadatan dengan populasi hama (Untung, 2006). Artinya, populasi musuh alami akan meningkat ketika populasi hama juga meningkat, begitu sebaliknya.

Teori kedua yakni teori iklim, yang berpendapat bahwa faktor fisik atau abiotik sebagai faktor yang mengendalikan kepadatan suatu populasi. Faktor ini merupakan pengendali yang tidak bertaut kepadatan (Oka, 2005). Artinya, daya penekanannya tidak dipengaruhi oleh kepadatan symphyliid.

Teori selanjutnya yakni teori komprehensif, teori ini yang paling banyak digunakan. Bahwa semua faktor baik yang bertaut kepadatan maupun bebas kepadatan mempengaruhi kepadatan populasi. Faktor biotik maupun abiotik yang kompleks yang berbeda dalam ruang dan waktu membuat perubahan atau perbedaan populasi (Oka, 2005). Secara skematik pengendalian alami hama dalam teori ini dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 8):



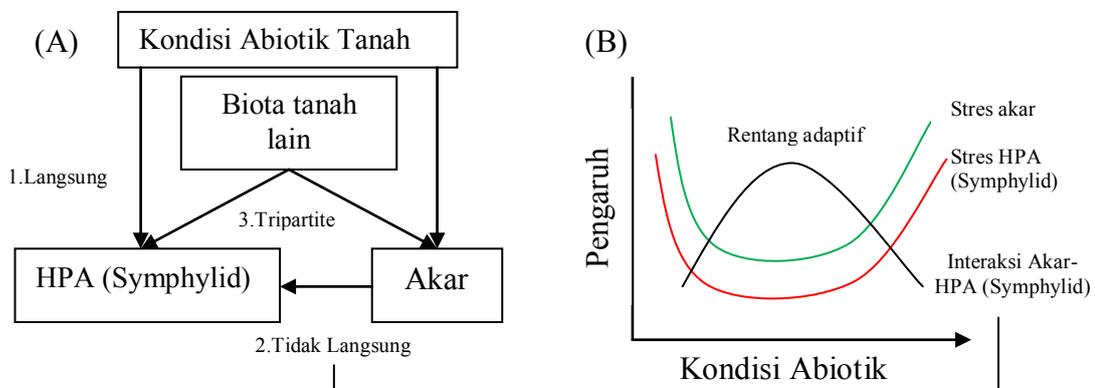
Gambar 8. Komponen pengendalian alami yang bertaut kepadatan dan yang bebas kepadatan. (Sumber : dimodifikasi dari Untung, 2006)

Secara teoritis terdapat indikasi yang kuat pengaruh parameter abiotik pada keberadaan suatu hama pemakan akar (HPA) (Johnson *et al.*, 2011; Barnett & Johnson, 2013). Umumnya, faktor abiotik yang Symphyliid sebagai HPA meliputi struktur dan tekstur tanah, kelembaban tanah, suhu tanah, CO₂ di tanah, pH tanah,

serta pemupukan (dengan pupuk kandang) (Barnett & Johnson, 2013; Edwards, 1961; Michelbacher, 1938).

2.6 Interaksi Herbivora Pemakan Akar, Akar Tanaman dan Faktor Abiotik Tanah

Interaksi herbivora pemakan akar (symphyliid), akar tanaman dan faktor abiotik tanah dapat dijelaskan terkait 3 hal (Gambar 9.A). Pertama, lingkungan abiotik tanah dapat secara langsung mempengaruhi kelimpahan dan distribusi HPA. Edwards (1961) menemukan bahwa temperatur dan kelembaban mempengaruhi distribusi vertikal symphyliid. Kedua, faktor abiotik dapat mempengaruhi secara tidak langsung symphyliid. Hal ini disebabkan oleh perubahan fisiologi dan metabolisme akar mengikuti tekanan faktor abiotik (Gao *et al.*, 2007 dalam Erb & Lu, 2013) yang akan mengubah kualitas makanan dan kapasitas pertahanan akar. Terakhir, faktor abiotik juga dapat mempengaruhi lingkungan biotik dimana tanaman dan HPA bertemu (Fierer & Jackson, 2006 dalam Erb & Lu, 2013), termasuk, misalnya, musuh alami yang dapat mengurangi serangan symphyliid.



Gambar 9. Pengaruh kondisi abiotik tanah terhadap interaksi akar–HPA. (Sumber: dimodifikasi dari Erb & Lu, 2013).

Lebih lanjut, Erb & Lu (2013) menjelaskan bahwa kondisi abiotik dapat mempengaruhi interaksi tanaman dan lingkungan secara kuantitatif (Gambar 9B). Secara umum kondisi yang ekstrim akan mengurangi HPA (symphyliid) dan kesehatan tanaman, termasuk organisme yang spesifik hidup beradaptasi di bawah kondisi tersebut. Pada banyak kasus, kondisi abiotik berfluktuasi pada level dalam rentang kompensasi fisiologi dari keduanya (tanaman dan symphyliid). Dengan demikian perubahan faktor abiotik mempengaruhi dengan kuat hasil interaksi tanaman dengan symphyliid.

Selain itu terkait interaksi HPA dengan akar tanaman, penelitian satu dekade terakhir oleh para ahli telah berhasil mengungkap bahwa serangan HPA dapat menginduksi pertahanan akar. Tipe pertahanan yang terbentuk dapat digolongkan ke dalam beberapa tipikal yakni tipe langsung, tipe tidak langsung, tipe toleransi dan tipe pengelakan. Toleransi akar terhadap HPA ditunjukkan dengan pertumbuhan yang lebih atau tumbuh kembalinya jaringan yang hilang (rusak) atau menolak dengan cara memproduksi metabolit sekunder yang beracun terhadap HPA atau menarik musuh alami HPA tersebut (Rasmann *et al.*, 2011). Secara sederhana tipe pertahanan akar ini dapat dirangkum sebagai berikut :

Tabel 3. Tipe pertahanan akar terhadap HPA, contoh dan mekanismenya.

Tipe Pertahanan	Contoh	Mekanisme
Toleransi	Tumbuh kembali Kompensasi berlebih	Realokasi sumber daya dari jaringan lain Peningkatan metabolisme utama tanaman setelah dirusak HPA
Langsung	Pertahanan kimiawi Pertahanan struktural Nutrisional	Pengeluaran metabolit sekunder dalam konsentrasi tinggi pada area yang terluka Pengerasan jaringan akar N (C : N ratio)
Tidak langsung	Interaksi tritrofik	Rekrutmen NEP oleh emisi volatil dari area yang terluka
Pengelakan	Pengelakan fenologikal Pengelakan fisiologikal	Penundaan pertumbuhan Menyimpan nutrisi yang kecil pada jaringan terserang

Sumber : Rasmann *et al.* (2011).

Pada interaksi tritrofik (tiga trofik: tumbuhan, hama, dan musuh alami), peranan biota tanah lain (musuh alami symphyliid) yang mungkin terjadi dan membentuk interaksi pihak ketiga (*tripartite*) terhadap akar maupun symphyliid yang juga dipengaruhi oleh faktor abiotik. Pola pengaruh ini dikenal dengan istilah efek tripartit (*tripartite effects*) yang terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Pengaruh secara langsung terhadap symphyliid dilakukan mikroorganisme sebagai patogen. Sedangkan secara tidak langsung, mikroorganisme dapat mempengaruhi pertahanan tanaman dengan berperan sebagai mutualis bermanfaat (Zamioudis & Pieterse, 2012) atau sebagai antagonis (Millet *et al.*, 2010). Misalnya *Glomus mosseae* diketahui meningkatkan resistensi tanaman *Taraxacum officinale* dan *Glomus etunicatum* meningkatkan resistensi tanaman *Glycine max* terhadap serangan hama pemakan akar (Gange *et al.*, 1994; Borowicz, 1997). Ketahanan tanaman yang terbentuk melawan HPA tersebut berbeda-beda bergantung pada

mode kegiatan memakan dan derajat spesialisasi dari herbivora (Koricheva *et al.*, 2009).

Secara umum, ketika HPA dalam hal ini symphyliid menyerang, tanaman mulai memproduksi senyawa organik volatil yang menyebar melalui tanah dan dapat digunakan oleh nematoda entomopatogenik (NEP) untuk menemukan lokasi mangsanya (Rasmann *et al.*, 2005; Ali *et al.*, 2010; Turlings *et al.*, 2012; Hiltbold *et al.*, 2013). Nematoda yang umum dikenali sebagai NEP tergolong ke dalam Famili *Heterorhabditidae* dan *Steinernematidae* (Purnomo, 2010). Sejauh ini telah dilaporkan spesies nematoda *Heterorhabditis marealetus*, *Steinernema feltiae*, *S. carpocapsae* terbukti dapat menimbulkan mortalitas pada symphyliid hingga 75% (Brown *et al.*, 2001). Terkait dengan jenis senyawa volatil yang dapat mengundang NEP, Hiltbold *et al.* (2010) menemukan bahwa *S. fertiae* tertarik dengan senyawa (*E*)- β -caryophyllene (E β C) yang dikeluarkan oleh akar tanaman jagung yang terserang HPA. Kemampuan pencarian mangsa dari NEP sendiri umumnya dipengaruhi arsitektur akar tanaman (Demarta *et al.*, 2014). Beberapa jenis NEP dapat ditemukan keberadaannya di pertanaman pisang (Mwaitulo *et al.*, 2011).

Namun demikian pola interaksi tritrofik yang melibatkan akar dan NEP sebagai agensia hayati HPA (symphyliid) tetap dipengaruhi oleh faktor abiotik. Menurut Erb & Lu (2013) setidaknya pengaruhnya dapat dijelaskan dalam 3 cara, yakni :

1. Induksibilitas dari sinyal volatil dapat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi (Ibrahim *et al.*, 2008) dan status air (Gouinguene & Turling, 2002 dalam Erb & Lu, 2013).

2. Difusi volatil melalui tanah dipengaruhi oleh kelembaban tanah, kelembaban yang terlalu tinggi atau terlalu rendah tidak cocok dalam proses difusi ini (Hiltpold & Turlings, 2008).
3. Aktivitas pergerakan NEP dipengaruhi oleh struktur tanah (Schroeder & Beavers, 1987 dalam Erb & Lu, 2013) dan kelembaban (Grant & Villani, 2003).