

**IDENTIFIKASI, SEBARAN DAN DERAJAT KERUSAKAN
KAYU OLEH SERANGAN RAYAP *COPTOTERMES*
(ISOPTERA: RHINOTERMITIDAE) DI SULAWESI SELATAN**

IDENTIFICATION, DISTRIBUTION AND WOOD DAMAGE
ATTACKED BY *COPTOTERMES* (ISOPTERA:
RHINOTERMITIDAE) IN SOUTH SULAWESI

A S T U T I



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

**IDENTIFIKASI, SEBARAN DAN DERAJAT KERUSAKAN
KAYU OLEH SERANGAN RAYAP *COPTOTERMES*
(ISOPTERA: RHINOTERMITIDAE) DI SULAWESI SELATAN**

Disertasi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor

Program Studi

Ilmu Pertanian

Disusun dan diajukan oleh

A S T U T I

Kepada

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

DISERTASI

**IDENTIFIKASI, SEBARAN DAN DERAJAT KERUSAKAN KAYU OLEH
SERANGAN RAYAP COPTOTERMES (ISOPTERA: RHINOTERMITIDAE)
DI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh :

ASTUTI

Nomor Pokok : P0100308026

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi

Pada tanggal 21 Oktober 2013

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

**MENYETUJUI
KOMISI PENASEHAT**



Prof. Dr. Ir. Musrizal Muin, M.Sc.
Promotor



Prof. Dr. Ir. Nurariaty Agus, M.S.
Kopromotor



Prof. dr. Muh. Nasrum Massi, M.D.Ph.D
Kopromotor

Direktur Program Pascasarjana /
Plt. Ketua Program Studi Ilmu Pertanian
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. Mursalim.

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Astuti
Nomor Mahasiswa : P0100308026
Program Studi : Ilmu Pertanian

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 2013

Yang menyatakan

Astuti

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan karunia dan kasih sayang-Nya atas terselesaikannya disertasi ini. Juga salam dan shalawat kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sehingga membukakan jalan dari kegelapan kepada cahaya keimanan dan ilmu pengetahuan.

Penelitian ini didasari oleh keingintahuan yang mendalam tentang fenomena alam, termasuk perilaku makhluk kecil bernama “rayap” yang dikenal umum sebagai hama, namun di pihak lain memiliki peranan yang sangat penting dalam ekosistem sebagai pengatur keseimbangan bahan organik di bumi ini. Sebagai dekomposer primer, biodiversitas organisme ini cukup tinggi, dengan sebaran yang bervariasi, baik di daerah lintang maupun bujur. Pulau Sulawesi yang secara ekologi dikenal memiliki kekhasan flora dan fauna endemik melatarbelakangi dilaksanakannya penelitian “sebaran rayap *Coptotermes* di Sulawesi Selatan” ini. Penelitian ini diharapkan memberikan pemahaman tentang potensi serangan rayap yang dikenal sangat destruktif ini dengan melihat wilayah sebarannya.

Pelaksanaan penelitian dan penyusunan disertasi ini tidak terlepas dari berbagai kendala. Namun dengan bantuan berbagai pihak, penyusunan disertasi ini akhirnya dapat terselesaikan. Atas segala bantuan dan dukungannya, tak lupa pada kesempatan ini disampaikan dan dihaturkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Prof. D. Ir. Musrizal Muin, M.Sc sebagai Ketua Komisi Penasehat, Prof. Dr. Ir. Nurariaty Agus, M.S. dan Prof. dr. Muh. Nasrum Massi, MD., Ph.D sebagai anggota Komisi Penasehat atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari pengembangan minat terhadap permasalahan penelitian, pelaksanaan penelitian sampai penyusunan disertasi ini.
2. Adik Wendy ... atas bantuan dalam melakukan survey dan mengumpulkan rayap di lokasi penelitian.
3. Bapak Safri atas bantuan dan arahan yang diberikan dalam mengisolasi dan mengamplifikasi DNA rayap.
4. Bapak Andang Suryana Soma, S.Hut., M.Si dan Alamsyah, S.Hut atas bantuan yang diberikan dalam memetakan lokasi dan jenis rayap, serta menganalisis peta yang dibutuhkan dalam penelitian ini.
5. Bapak Agussalim, S.Hut atas bantuan yang diberikan untuk membuat sketsa rayap, serta Heru Arisandi, A.Md atas bantuannya di Laboratorium Pengolahan dan Pemanfaatan Hasil Hutan Fakultas Kehutanan Unhas.
6. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Atas dukungan dan pengorbanan yang tak terhingga yang diberikan sejak memulai pendidikan, penelitian sampai penyusunan disertasi ini, tak lupa pula dihaturkan terima kasih yang tulus kepada ayahanda H. Arif Syam bin Tengge, ibunda Hj. Sanubariah Binti Campeng, suami Mustafa, S.Hut., M.Si, serta anak-anak tercinta Nur Muhammad Mu'adz dan Nur

Muhammad Ma'rif. Juga terima kasih kepada seluruh keluarga besar H. Arif Syam dan H. Hammading.

Disertasi ini tidak lupa lupuk dari berbagai kekurangan, tetapi semoga dapat memberi kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan bermanfaat bagi masyarakat.

Makassar, 2013

Astuti

ABSTRAK

Astuti. Identifikasi, Sebaran dan Derajat Kerusakan Kayu oleh Serangan Rayap *Coptotermes* (Isoptera: Rhinotermitidae) di Sulawesi Selatan. Di bawah bimbingan Musrizal Muin selaku Promotor, Nurariaty Agus dan Muh. Nasrum Massi selaku Ko-Promotor.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengidentifikasi spesies *Coptotermes* yang terdapat di Sulawesi Selatan berdasarkan morfologi dan genetik, (2) menganalisis sebaran spesies *Coptotermes* berdasarkan wilayah, jenis tanah dan habitat spesifik, dan (3) mengevaluasi potensi kerusakan kayu yang ditimbulkannya oleh serangan *Coptotermes* serta hubungannya dengan faktor lingkungan.

Survey rayap dilakukan pada seluruh wilayah Sulawesi Selatan, dengan metode insidental sampling. Identifikasi berbasis morfologi dilakukan terhadap 9 karakter morfologi rayap prajurit, yang dicocokkan dengan kunci determinasi; sedangkan identifikasi berbasis molekuler dilakukan terhadap rayap pekerja. Analisis spasial dan deskriptif digunakan untuk sebaran spesies berdasarkan wilayah, jenis tanah dan habitat spesifik. *Rating scale* dan analisis varian digunakan untuk mengevaluasi derajat kerusakan sampel kayu, dan analisis korelasi Spearman's Rho dilakukan untuk mengetahui hubungannya dengan faktor lingkungan.

Hasil analisis varian, analisis cluster, serta data morfometri diperoleh 5 jenis *Coptotermes* dari 34 lokasi, yaitu terdapat 5 jenis *Coptotermes* yang tersebar pada 34 lokasi di wilayah Sulawesi Selatan, yaitu: *Coptotermes* sp.1 yang diidentifikasi sebagai *Coptotermes* sp.; *C. sp.2* diidentifikasi mirip *C. gestroi* Wasmann; *Coptotermes* sp.3 dan *Coptotermes* sp.4 diidentifikasi masing-masing sebagai *C. curvignathus* dan mirip *C. curvignathus*; serta *Coptotermes* sp.5 yang tak teridentifikasi. Berdasarkan analisis *high similarity blast*, *Coptotermes* sp.1 diidentifikasi dekat ke *C.sjoestedti*, *C. gestroi*, *C. amanii* dan *Coptotermes* sp. (P2Wo); *Coptotermes* sp.2 juga diidentifikasi dekat ke *C.sjoestedti*, *C. gestroi*, *C. curvignathus*, dan *Coptotermes* sp. (P2Wo); *Coptotermes* sp.3 diidentifikasi sebagai *Coptotermes* sp.; *Coptotermes* sp.4 diidentifikasi sebagai *C. curvignathus*; dan *Coptotermes* sp.5 diidentifikasi dekat ke *Coptotermes* sp. (P2Wo). Dua spesies (cluster 1 dan 2) tersebar hampir merata pada seluruh daerah yang disurvei, dan tiga lainnya memiliki penyebaran terbatas. Keseluruhan *Coptotermes* tersebar pada 8 jenis tanah dan dominan ditemukan pada kayu *Lannea grandis*. Derajat kerusakan yang ditimbulkan oleh setiap jenis berbeda-beda; dan derajat kerusakan tersebut berkorelasi dengan jenis makanan dan sanitasi lingkungan, tetapi tidak berkorelasi dengan jenis habitat.

ABSTRACT

Astuti. Identification, Distribution and Wood Damage Attacked by *Coptotermes* (Isoptera: Rhinotermitidae) in South Sulawesi. Under Supervised by Musrizal Muin as Promotor, Nurariaty Agus and Muh. Nasrum Massi as Co-Promotor.

This study aimed (1) to identify of *Coptotermes* species based on morphological characteristics and molecular genetics; (2) to analyze of species distribution based on region, soil types, and specific habitats; and (3) to evaluate of the potential of wood damages due to termite attack and their correlation with the environmental factors.

Termites survey covered on South Sulawesi area with the elevation sites below 500 m; specimens collected used the insidental method of sampling. Species determination based on nine morphological characters of soldier and molecular genetic of workers from five population representating of five clusters. The spatial and descriptive analysis was conducted in order to determine the termite distribution based on the region, soil types, and spesific habitats. The rating scale and the variant analysis was used to evaluate the damage level of the wood; while the correlation analysis of Spearman's Rho was conducted in order to find out its correlation with environmental factors.

The results of variants analysis, the cluster analysis, and the morphometrical data revealed that there are five species of *Coptotermes* found in 34 locations of South Sulawesi: i.e. *Coptotermes* sp.1 identified as *Coptotermes* sp.; *C. Coptotermes* sp.2 as similar to *C. gestroi* Wasmann; *Coptotermes* sp.3 identified as *C. curvignathus*; *Coptotermes* sp.4 as similar to *C. curvignathus*, respectively; and *Coptotermes* sp.5 was unidentified. Based on the high similarity blast analysis, *Coptotermes* sp.1 was identified as close to *C.sjoestedti*, *. gestroi*, *C, amanii* and *Coptotermes* sp. (P2Wo); *Coptotermes* sp.2 was also identified as close to *C.sjoestedti*, *C. gestroi*, *C. curvignathus*, and *Coptotermes* sp. (P2Wo); *Coptotermes* sp.3 as *Coptotermes* sp.; and *Coptotermes* sp.4 as *C. curvignathus*; and *Coptotermes* sp.5 was identified as close to *Coptotermes* sp. (P2Wo). Two species (cluster 1 and 2) were spread almost evenly through out the regions surveyed, while the rest three clusters were spread in limited areas. In general, *Coptotermes* were spread in eight types of soil and were dominantly found in *Lannea grandis* wood. Meanwhile, the damage level of wood caused by each species was varied; and those damage levels were correlated with the food types and the environmental sanitation, but no correlated with the type of habitats.

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	i
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Kegunaan Penelitian	7
E. Ruang Lingkup/Batasan Penelitian	8
F. Kebaharuan Penelitian	9
II. TINJAUAN PUSTAKA	10
A. Taksonomi dan Sistematika Rayap	10
1. Asal Isoptera	10
2. Posisi Isoptera dalam Dictyoptera (Insekta)	11
3. Hubungan famili dalam ordo Isoptera	12
B. Rayap Genus <i>Coptotermes</i>	14

1. Klasifikasi	15
2. Sebaran	18
3. Siklus Hidup dan Kasta	20
a. Kasta Reproduksi	21
b. Kasta Pekerja	22
c. Kasta Prajurit	23
4. Spesies <i>Coptotermes</i> yang Terdokumentasi Berasal dari Indonesia	24
a. <i>C. curvignathus</i>	25
b. <i>C. gestroi</i>	26
c. <i>C. travians</i>	27
d. <i>C. havilandi</i>	27
e. <i>Coptotermes</i> sp.	27
5. Kelimpahan Spesies	28
C. Identifikasi Jenis Rayap	29
1. Pendekatan Morfologi	29
2. Pendekatan Molekuler	32
D. Kepentingan Genus <i>Coptotermes</i>	33
1. Aspek Ekologis	33
2. Aspek Ekonomi	35
a. Spesies Destruktif yang Ditemukan di Indonesia	35
b. Teknik Mendeteksi Kerusakan Kayu oleh Rayap	36
E. Gen Mitokondrial Cytochrome Oxidase Subunit II	37
F. Konseptual	41

III. METODE PENELITIAN	43
A. Rancangan Penelitian	43
B. Lokasi dan Waktu	43
C. Alat dan Bahan	45
D. Populasi dan Teknik Sampel	47
E. Instrumen Pengumpulan Data	47
1. Pengumpulan, Koleksi dan Pengawetan Spesimen	47
2. Pendataan Kondisi Lokasi	49
3. Identifikasi Spesies Rayap	49
a. Morfologi dan Morfometri	49
b. Genetik Molekuler	51
4. Kelimpahan Relatif Spesies Rayap	57
5. Pengujian Derajat Kerusakan Kayu	57
F. Analisis Data	59
1. Analisis Morfometrik	59
2. Analisis sekuens DNA berdasarkan Gen mtDNA COII	59
3. Pemetaan Sebaran Spesies <i>Coptotermes</i>	60
4. Analisis Kerusakan Kayu oleh Serangan rayap	60
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	62
A. Identifikasi Rayap	62
1. Sebaran Sampel	62
2. Karakteristik Morfologi dan Morfometri Rayap	66
a. Diagnostik Genus <i>Coptotermes</i>	66
b. Analisis Morfometri Rayap Prajurit	67

c. Analisis Cluster	81
d. Identifikasi Rayap	86
e. Kunci Determinasi Spesies <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	98
f. Analisis Urutan DNA Rayap <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	99
B. Sebaran Spesies Rayap	110
1. Penyebaran Menurut Wilayah	110
2. Penyebaran Menurut Jenis Tanah	114
3. Penyebaran Menurut Habitat Spesifik	120
a. Kayu dari Tanaman Inang	121
b. Komponen Bangunan	129
c. Turunan Kayu	130
C. Derajat Kerusakan Kayu	131
1. Kelimpahan Spesies <i>Coptotermes</i>	133
2. Hubungan antara Derajat Kerusakan Kayu dengan Jenis Habitat	136
3. Hubungan antara Derajat Kerusakan Kayu dengan Jenis Makanan	137
4. Hubungan antara Derajat Kerusakan Kayu dengan Faktor Sanitasi Lingkungan	139
V. KESIMPULAN DAN SARAN	141
A. Kesimpulan	141
B. Saran	142
DAFTAR PUSTAKA	144
LAMPIRAN-LAMPIRAN	157

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Gen yang khas ditemukan pada genom mitokondrial binatang (Boore, 1999)	38
2. Ukuran dan indeks anatomi eksternal rayap prajurit untuk identifikasi species <i>Coptotermes</i>	50
3. Skala <i>rating</i> yang digunakan untuk menilai contoh uji (Cookson, 2004)	58
4. Kisaran, rata-rata, standar deviasi dan hasil uji Tukey dari karakteristik morfometri kepala dan mandibel rayap prajurit <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	69
5. Kisaran, rata-rata, standar deviasi dan hasil uji Tukey dari karakteristik morfometri pronotum rayap prajurit <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	70
6. Kisaran, rata-rata, standar deviasi dan hasil uji Tukey dari morfometri postmentum rayap prajurit <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	75
7. Kisaran, rata-rata, standar deviasi dan hasil uji Tukey dari jumlah segmen antena dan nilai indeks mandibular kepala rayap prajurit <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	77
8. Perbandingan hasil identifikasi rayap <i>Coptotermes</i> berdasarkan data morfologi dan molekuler	108
9. Persentase kejadian serangan dan bagian yang terserang oleh rayap <i>Coptotermes</i>	121
10. Hasil uji wilayah berganda Duncan nilai tengah derajat kerusakan kayu	132

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Filogeni dictyoptera: angka setelah nama cockroach mengindikasikan clade cockroach terpisah (tidak spesifik) (Eggleton, 2000)	12
2. Filogeni level famili pada rayap: (a) Donovan <i>et al.</i> (2000); (b), Thompson <i>et al.</i> (2000); (c) Kambhampati and Eggleton (2000); (d) Majority rule consensus (Eggleton, 2000)	14
3. Siklus hidup rayap tanah <i>Reticulitermes</i> (Gold <i>et al.</i> , 1914)	20
4. (a) reproduktif primer (ratu) yang dikelilingi rayap pekerja di ruangan khusus dalam sarang (Prasetiyo and Yusuf, 2005); (b) raja yang berada di dekat ratu dengan ukuran badan lebih kecil (http://www.fumapest.com.au/termites-white-ants-nowra-shoalhaven.html)	21
5. Kasta pekerja <i>Coptotermes</i> : (a) menyerang kayu (Prasetiyo and Yusuf, 2005), (b) sarang dan terowongan pada pohon jambu mete (<i>A. occidentale</i>) di Kabupaten Luwu	23
6. <i>Coptotermes formosanus</i> : (a) Prajurit dan pekerja (http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=0014113); (b) prajurit yang keluar dari sarang yang terbuka (http://www.sel.barc.usda.gov/selhome/gbu/coptotermes.html)	24
7. Kepala dari laron <i>Tenuirostritermes cinereus</i> Buckley. a: penampakan dorsal; b: penampakan lateral; c: penampakan ventral. (A) antena; (Ac) anteclypeus; (C) sklerit servikal pertama; (C ₂) skelit servikal kedua; (Ca) cardo; (Ce) mata majemuk; (E) epistomal suture; (Ep) epicranium; (F) fontanel; (Fm) foramen magnum; (G) glossa; (Ge) gena; (L) labium; (La) lacinia; (Lp) labial palp; (M) membrane; (Ma) mandibel; (Mp) maxillary palp; (O) ocellus; (P) palpifer; (pc) postclypeus; (Pg) paraglossa; (Pm) prementum; (Po) postmentum; (S) stipes (Weesner, 1969)	30
8. Struktur genom mitokondria binatang (Gray, 1989)	39
9. Kerangka konseptual penelitian	42

10. Alur operasional pelaksanaan penelitian	48
11. Pengukuran rayap: (A) kepala, (B) pronotum, (C) mandibel kiri, (D) postmentum; (a) HL, (b) bHW, (c) mHW, (d) PL, (e) PW, (f) LML, (g) PosL, (h) PosW (Takematsu and Vongkaluang, 2012)	51
12. Bentuk, ukuran dan cara pengumpulan contoh uji di lapangan ..	58
13. Peta sebaran specimen	64
14. Bagian utama dari rayap <i>Coptotermes</i>	66
15. Dendrogram UPGMA terhadap 9 karakteristik morfologi dari 34 populasi	82
16. Hubungan antara lebar kepala pada dasar mandibel (LKDM) dengan lebar maksimum kepala (LMK)	84
17. Hubungan antara lebar maksimum kepala (LMK) dengan panjang kepala (PKTM)	85
18. Hubungan antara panjang mandibel kiri (PMK) dengan panjang kepala (PKTM)	86
19. Rayap <i>Coptotermes</i> sp. 1: (a) prajurit dengan penampakan dorsal, (b) prajurit dengan penampakan ventral, dan (c) pekerja. Skala bar 0,5 mm	87
20. Prajurit <i>Coptotermes</i> sp.1: (a) penampakan atas kepala, (b) pronotum, (c) antena, (d) penampakan samping kepala, (e) postmentum. Skala bar 0,5 mm	88
21. Rayap <i>Coptotermes</i> sp.2: (a) prajurit dengan penampakan dorsal, (b) prajurit dengan penampakan ventral, dan (c) pekerja. Skala bar 0,5 mm	90
22. Prajurit <i>Coptotermes</i> sp.2: (a) penampakan atas kepala, (b) pronotum, (c) antena, (d) penampakan samping kepala, (e) postmentum. Skala bar 0,5 mm	90
23. Rayap <i>Coptotermes</i> sp.3: (a) prajurit dengan penampakan dorsal, (b) prajurit dengan penampakan ventral, dan (c) pekerja. Skala bar 0,5 mm	92

24. Prajurit <i>Coptotermes</i> sp.3: (a) penampakan atas kepala, (b) pronotum, (c) antena, (d) penampakan samping kepala, (e) postmentum. Skala bar 0,5 mm	93
25. Rayap <i>Coptotermes</i> sp.4: (a) prajurit dengan penampakan dorsal, (b) prajurit dengan penampakan ventral, dan (c) pekerja. Skala bar 0,5 mm	95
26. Prajurit <i>Coptotermes</i> sp.4: (a) penampakan atas kepala, (b) pronotum, (c) antena, (d) penampakan samping kepala, (e) postmentum. Skala bar 0,5 mm	95
27. Rayap <i>Coptotermes</i> sp.5: (a) prajurit dengan penampakan dorsal, (b) prajurit dengan penampakan ventral, dan (c) pekerja. Skala bar 0,5 mm	97
28. Prajurit <i>Coptotermes</i> sp.5: (a) penampakan atas kepala, (b) pronotum, (c) antena, (d) penampakan samping kepala, (e) postmentum. Skala bar 0,5 mm	97
29. Elektroforetogram gel agarose dari purifikasi produk PCR <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	100
30. Peta sebaran spesies <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	111
31. Hubungan jenis tanah dan keberadaan rayap <i>Coptotermes</i>	115
32. Bentuk sarang yang ditemukan di lokasi penelitian: (a) sarang <i>Nasutitermes</i> yang berbentuk gundukan tanah, (b) terowongan <i>Microcerotermes</i> yang mengarah ke sarang, dan (c) sarang <i>Coptotermes</i> yang berbentuk carton	122
33. Hubungan kelimpahan relatif dengan derajat kerusakan contoh uji oleh serangan rayap <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	134

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Peta survey rayap <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	158
2. Kondisi umum lokasi pengambilan spesimen	159
3. Deskripsi spesimen rayap <i>Coptotermes</i>	165
4. Data morfometri rayap prajurit dari Genus <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	173
5. Analisis varian karakteristik morfometri rayap prajurit rayap <i>Coptotermes</i>	191
6. Hasil perhitungan nilai indeks morfometri rayap prajurit <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	192
7. Analisis varian nilai indeks mandibular kepala rayap prajurit rayap <i>Coptotermes</i>	204
8. <i>Proximity matrix</i> atau <i>Dissimilarity matrix</i>	205
9. Hasil analisis high similarity blast dari spesimen <i>Coptotermes</i> di Sulawesi Selatan	210
10. Data curah hujan bulanan per kabupaten/kota pada Tahun 2011	213
11. Derajat kerusakan sampel uji oleh <i>Coptotermes</i> di lapangan	214
12. Analisis varian derajat kerusakan sampel uji oleh <i>Coptotermes</i> di lapangan	215
13. Analisis korelasi Spearman's Rho antara derajat kerusakan kayu sampel <i>P. merkusii</i> dengan faktor jenis habitat	216
14. Analisis korelasi Spearman's Rho antara derajat kerusakan kayu sampel <i>P. merkusii</i> dengan faktor jenis makanan	217
15. Analisis korelasi Spearman's Rho antara derajat kerusakan kayu sampel <i>P. merkusii</i> dengan faktor sanitasi lingkungan	219

ISTILAH

Amplifikasi

produksi satu atau lebih salinan fragmen genetik atau urutan target.

Amplikon

Produk dari reaksi amplifikasi, seperti produk PCR.

Blast

Basic Local Alignment Search Tool (Altschul *et al.*, J Mol Biol 215:403-410; 1990).

Blastn (Nukleotida-BLAST)

Blastn mengambil urutan nukleotida dan format FASTA format, nomor akses GenBank, atau nomor GI dan membandingkannya dengan database nukleotida NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>.)

CDS

sebagian dari urutan DNA genom yang diterjemahkan secara inklusif dari kodon awal ke kodon stop, jika lengkap.

Dendrogram

diagram bercabang yang menggambarkan hirarki kategori berdasarkan derajat kesamaan sejumlah karakteristik dalam taksonom

DNA (deoxyribonucleic acid)

Molekul yang mengkode informasi genetik. DNA adalah molekul beruntai ganda yang terikat bersama oleh ikatan lemah antara pasangan basa nukleotida. Empat nukleotida DNA mengandung basa: adenin (A), guanin (G), sitosin (C), dan timin (T).

Euclidean distance

adalah jarak 'biasa' antara dua titik, yang didefinisikan sebagai akar kuadrat dari jumlah kuadrat dari perbedaan antara koordinat titik yang berhubungan.

Expect value (Nilai harapan)

Parameter E-nilai yang menggambarkan jumlah hits yang dapat "diharapkan" yang secara kebetulan saat pencarian database dari ukuran tertentu. Nilai ini menurun secara eksponensial dengan skor (S) yang disusun untuk dicocokkan antara dua sekuens. Pada dasarnya, E-nilai menggambarkan gangguan latar belakang secara acak yang ada untuk mencocokkan antara urutan.

Filogeni

kajian mengenai hubungan di antara kelompok-kelompok organisme yang dikaitkan dengan proses evolusi yang dianggap mendasarinya

Filogenetik

studi yang membahas tentang hubungan kekerabatan antar berbagai macam organisme melalui analisis molekuler dan morfologi

Gap

Gap disisipkan antara residu sehingga karakter yang sama atau identik disusun dalam kolom secara berurutan.

Gel elektroforesis

metode untuk pemisahan dan analisis makromolekul (DNA, RNA dan protein) dan fragmennya, berdasarkan ukuran dan muatan mereka.

Monofiletik

Suatu pengelompokan dengan menggunakan kladistika harus menghasilkan suatu klad yang tuntas

PCR

Sebuah prosedur yang menghasilkan beberapa salinan dari segmen pendek DNA melalui siklus (30 atau lebih siklus): 1) denaturasi (pemisahan panas dari DNA beruntai ganda menjadi untai tunggal), 2) penempelan (pengikatan primer spesifik pada kedua ujung segmen target), dan 3) elongasi (perpanjangan urutan primer dari target segmen dengan enzim DNA-polimerase).

Primer

seuntai asam nukleat yang berfungsi sebagai titik awal untuk sintesis DNA, yang dibutuhkan untuk replikasi DNA karena enzim yang mengkatalisis proses ini, DNA polimerase, hanya dapat menambahkan nukleotida baru ke untai DNA yang ada. Enzim polimerase mulai mereplikasi pada 3'-akhir primer, dan menyalin untaian yang berlawanan.

Proximity matrix

Sebuah matriks bujursangkar di mana entri dalam sel (j, k) adalah beberapa ukuran kesamaan (atau jarak) antara item yang baris j dan k kolom.

UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean)

metode pengelompokan agglomeratif sederhana atau pengelompokan hirarki, yang didasarkan pada kesamaan padasangan pada variabel deskriptor yang relevan (seperti komposisi spesies).

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Rayap (ordo: Isoptera) yang dikenal dengan nama “anai-anai” sangat mudah dijumpai di berbagai tipe ekosistem, seperti ekosistem hutan, pertanian, perkebunan, dan juga ditemukan pada ekosistem pemukiman atau perkotaan. Kondisi iklim dan tanah, termasuk banyaknya ragam jenis tumbuhan Indonesia sangat mendukung bagi perkembangan hidup rayap. Di Indonesia sendiri telah ditemukan sekitar 10% dari total rayap dunia. Meskipun demikian, hanya sekitar lima persen yang bersifat merugikan bagi manusia, yaitu sebagai hama bagi sebagian besar pertanaman pertanian dan perkebunan (Tarumingkeng, 2001). Ditinjau dari status rayap sebagai hama, rayap tanah yang paling banyak menarik perhatian peneliti adalah genus *Coptotermes*. Rayap ini merupakan jenis hama utama di Amerika, Asia, dan Australia (Lo *et al.*, 2006; Takematsu *et al.*, 2006). Seluruh kerusakan bangunan dan struktural yang terjadi di Malaysia juga disebabkan oleh serangan *Coptotermes* spp. yang mencapai 90% (Lee, 2002). Bahkan spesies rayap dari genus *Coptotermes* (Famili Rhinotermitidae) disebutkan sebagai hama isopteran yang sangat destruktif menyerang kayu dan bahan berkayu di dunia (Takematsu *et al.*, 2000) dan berbagai spesies rayap ini ditemukan di Indonesia, seperti di Pulau Jawa (Subekti, 2004; Yeap *et al.*, 2009),

Sulawesi (Pemberton, 1928; Takematsu *et al.*, 2000; Arif *et al.*, 2010), Kalimantan (Pemberton, 1928; Jones dan Prasetyo, 2002) dan Sumatera (Jones *et al.*, 2003).

Rayap *Coptotemes* sebagai serangga kosmpolitan dapat ditemukan di berbagai belahan dunia. Meskipun demikian, sebaran jenis dari genus ini berbeda-beda, misalnya *C. formosanus* Shiraki atau dikenal sebagai *Formosan subterranean termite* ditemukan sebagai rayap endemik dari daratan Cina (Austin *et al.*, 2006), yang kemudian menyebar ke berbagai negara seperti Amerika, Canada sampai Perancis; *C. acinaciformis* Froggatt atau *Australian subterranean termite* dengan penyebaran terluas di seluruh wilayah Australia (Lo *et al.*, 2006); serta *C. gestroi* Wasmann atau *Asian subterranean termite* dengan wilayah penyebaran asli di Asia Tenggara (Indo-Malaya) (Kirton dan Brown, 2003).

Penyebaran rayap ke berbagai negara dapat terjadi karena introduksi manusia dalam mentransportasi kayu yang terserang rayap, misalnya melalui kayu kapal atau komoditi kayu yang diperuntukkan untuk penggunaan di darat seperti rel kereta api (Scheffrahn dan Su, 2005). Selain itu, kondisi lingkungan yang mencakup iklim, curah hujan, suhu, tanah dan topografi merupakan faktor yang paling berperan dalam menentukan penyebaran rayap ini. Variasi dari setiap faktor tersebut mempengaruhi kemampuan rayap untuk melakukan adaptasi, bertahan hidup dan mengembangkan koloninya.

Di Sulawesi Selatan, rayap pemakan kayu (*wood-feeding termites*) ini dapat ditemukan menyerang dan membangun sarang pada pohon hidup, pohon mati, dan komponen kayu bangunan rumah atau gedung. Posisi Sulawesi Selatan secara geografis-ekologis sangat mendukung perkembangbiakan rayap. Hal ini dapat dibuktikan dengan mudahnya ditemukan koloni rayap, khususnya pada daerah bervegetasi. Secara geografis, Sulawesi Selatan terletak di bagian Selatan Barat Semenanjung Pulau Sulawesi, dengan Lintang Selatan 4°20' dan Lintang Timur 120°15'. Secara administrasi, wilayah Sulawesi Selatan terbagi atas 21 kabupaten dan 3 kota dengan total luas 45.764,53 km² (BPS Provinsi Sulawesi Selatan, 2013).

Secara ekologi, Sulawesi Selatan termasuk salah satu pulau besar yang ada di Indonesia, dengan karakteristik fauna dan flora yang sangat berbeda dengan kepulauan besar lainnya. Hal ini dipengaruhi oleh letak wilayah yang berada di antara Paparan Sunda (Garis Wallacea) dan Paparan Sahul (Garis Weber). Konsekuensinya adalah Sulawesi Selatan berpotensi memiliki spesies fauna endemik, termasuk halnya serangga rayap. Hasil identifikasi terhadap spesimen rayap yang dikumpulkan dari koloni rayap yang ada di sekitar kota Makassar oleh Takematsu *et al.* (2006) menunjukkan bahwa rayap *Coptotermes* sp. (Famili: Rhinotermitidae) berbeda dengan *C. curvignathus* Holmgren yang ditemukan di Pulau Jawa dan yang selama ini dianggap sebagai jenis yang sama yang ada di Sulawesi Selatan. Penelitian Arif *et al.* (2010)

tentang perbandingan morfometrik rayap yang sama tapi berasal dari sarang yang berbeda juga menunjukkan adanya perbedaan yang nyata pada beberapa bagian anatomi external dari kedua populasi rayap tersebut. Lokasi keduanya berada dalam radius tidak lebih dari 1 km, dengan satu lokasi spesimen berasal dari ekosistem perumahan dan satu lokasi lainnya di konstruksi bangunan yang berada di Kampus Universitas Hasanuddin. Kedua penelitian memberikan gambaran singkat adanya variasi jenis di wilayah ini. Ditinjau dari luasan wilayah Sulawesi Selatan, maka bukan hal yang mustahil untuk menemukan jenis rayap baru yang belum pernah diidentifikasi sebelumnya.

Pemetaan sebaran spesies rayap *Coptotermes* ini sangat penting terkait dengan pencegahan dan pengendalian serangannya, khususnya pada bangunan dan konstruksi. Identifikasi rayap secara tepat penting karena metode dan strategi pengendalian yang dapat digunakan bergantung pada spesies target. Identifikasi spesies yang berbasis karakteristik morfologi kasta pekerja sulit dilakukan, dan identifikasi kasta prajurit seringkali tidak akurat karena dibutuhkan pengukuran yang seksama dan tumpang tindih juga sering terjadi di antara spesies (Scheffrahn dan Su, 1994). Kesulitan lain yang muncul dalam penentuan spesies pada lokasi pengambilan spesimen karena kasta pekerja yang sangat melimpah. Penemuan laron dalam suatu koleksi spesimen pun bersifat musiman dan cukup jarang. Kasta prajurit sendiri sangat sedikit, misalnya saja pada koloni *Reticulitermes*, hanya mewakili 1-3% dan

secara morfologi sangat beragam. Oleh karena itu, penggunaan kasta ini sendiri dapat menghasilkan penentuan spesies yang samar-samar (Szalanski *et al.*, 2003).

Salah satu teknik yang telah memberikan kontribusi terhadap penelitian rayap tanah pada semua level organisasi biologis adalah teknik genetik molekular. Data sekuens DNA (*Deoxyribonucleic Acid*) telah memberikan peningkatan yang signifikan terhadap pemahaman tentang studi sistematika dan taksonomi dari genera *Reticulitermes* dan *Coptotermes*, yang keduanya merupakan genera yang sangat penting secara ekologis dan ekonomis. Teknik ini juga telah memberikan pandangan baru dalam proses diferensiasi kasta pada rayap (Vargo dan Husseneder, 2009). Aplikasi teknik genetik molekular untuk mengklarifikasi hubungan spesies telah dimungkinkan dengan tersedianya perangkat berbasis-PCR untuk identifikasi spesies. Verifikasi spesies dan konstruksi filogeni pada rayap telah dilakukan oleh sejumlah peneliti menggunakan mitokondrial DNA cytochrome oxidase subunit II (mtDNA COII), seperti pada ordo Isoptera (Sobti *et al.*, 2009), famili Termitidae dan Rhinotermitidae (Lo *et al.*, 2004; Ohkuma *et al.*, 2004), subfamili Nasutermitinae (Bergamaschi *et al.*, 2007), serta genus *Reticulitermes* (Luchetti *et al.*, 2004; Ye *et al.*, 2004) dan genus *Coptotermes* (Szalanski *et al.*, 2004; Lo *et al.*, 2006; Yeap *et al.*, 2009). Untuk mendapatkan penentuan spesies secara akurat diperlukan perpaduan dari berbagai metode, dan penelitian Yeap *et al.* (2009) yang memadukan analisis

genetik dari rayap pekerja dan morfologi rayap prajurit memperlihatkan hasil yang lebih akurat dalam penentuan jenis *Coptotermes*.

Keterbatasan informasi jenis *Coptotermes* yang ada di Sulawesi Selatan serta bagaimana pola penyebaran geografis dan ekologisnya inilah yang mendasari penelitian ini, yang pada akhirnya diharapkan dapat menjadi database dalam pengembangan sistem pengendalian rayap secara terpadu.

B. Rumusan Masalah

Penelitian ini dilaksanakan untuk menjawab permasalahan tentang:

1. Spesies *Coptotermes* apa saja yang terdapat di Sulawesi Selatan berdasarkan analisis morfologi dan molekuler.
2. Bagaimana rayap *Coptotermes* yang tersebar di Sulawesi Selatan berinteraksi dengan lingkungannya (wilayah, jenis tanah dan habitat spesifik)
3. Bagaimana kerusakan kayu yang ditimbulkan oleh rayap *Coptotermes* dan hubungannya dengan faktor lingkungan.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi spesies *Coptotermes* yang terdapat di Sulawesi Selatan berdasarkan morfologi dan molekuler.

2. Menganalisis sebaran spesies *Coptotermes* berdasarkan wilayah, jenis tanah dan habitat spesifik.
3. Mengevaluasi potensi kerusakan kayu yang ditimbulkannya oleh serangan *Coptotermes* serta hubungannya dengan faktor lingkungan.

D. Kegunaan Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi baru terkait dengan tujuan penelitian. Selain itu, hasil penelitian diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, pembangunan dan pengembangan institusi sebagai berikut:

- a. *Pengembangan IPTEKS.* Kajian terkait pengendalian rayap selama ini telah banyak dilakukan, baik secara kimia, biologis maupun fisik. Namun, dukungan database jenis rayap yang bersifat destruktif, khususnya di Sulawesi Selatan, belum tersedia, sehingga tindakan pengendalian menjadi tidak efektif. Padahal kerusakan yang ditimbulkan oleh genus *Coptotermes* dengan mudah dapat ditemui di wilayah ini. Oleh karena itu, hasil pemetaan terhadap sebaran jenis rayap ini diharapkan akan memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang ilmu kayu.
- b. *Kontribusi terhadap pembangunan.* Informasi tentang penyebaran spesies rayap *Coptotermes* diharapkan dapat dirujuk sebagai bahan pertimbangan bagi pengambilan keputusan, khususnya yang terkait dengan upaya meminimalisasi dampak kerusakan akibat serangan

rayap. Di Sulawesi Selatan sendiri permintaan kayu untuk kebutuhan perumahan, utamanya untuk pembangunan rumah tradisional, masih cukup tinggi. Jika tidak ada upaya menghindarkan kayu tersebut dari serangan rayap, maka permintaan kayu akan menjadi berlipat ganda karena harus ada upaya penggantian yang baru sekaligus permintaan untuk pembangunan perumahan yang baru. Akibatnya semakin menekan sumberdaya hutan yang ada. Oleh karena itu, secara tidak langsung penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi menjaga kelestarian sumberdaya alam khususnya hutan sebagai produsen kayu dan peranannya dalam pembangunan nasional dapat terus berkelanjutan.

- c. *Pengembangan institusi.* Penelitian ini akan menghasilkan koleksi spesimen rayap yang tersebar di seluruh wilayah Sulawesi Selatan, sehingga diharapkan dapat menjadi rujukan sumber koleksi jenis rayap yang akan tersimpan di institusi tempat penelitian.

E. Ruang Lingkup/Batasan Penelitian

Penelitian tentang sebaran rayap ini dibatasi pada genus *Coptotermes* yang ada di Sulawesi Selatan (Ordo: Isoptera; Famili: Rhinotermitidae). Meskipun terdapat 14 genera yang tercatat ada di Indonesia, namun hanya dipilih dari genus ini mengingat statusnya yang bersifat sangat merusak. Penelitian ini juga menekankan pengambilan sampel dengan metode *insidental sampling* pada daerah yang terdapat

kejadian serangan, berdasarkan hasil survey. Untuk penentuan jenis rayap dilakukan berdasarkan analisis morfologi dan genetik molekuler, meskipun dari berbagai referensi terdapat banyak metode yang dapat dilakukan untuk penentuan spesies. Selain itu, juga dilakukan evaluasi terhadap potensi kerusakan kayu yang ditimbulkan oleh rayap tersebut.

F. Kebaharuan Penelitian

Penelitian yang terkait dengan rayap, khususnya genus *Coptotermes*, telah banyak dikaji oleh berbagai peneliti baik dari dalam negeri (Indonesia) maupun luar negeri dari beragam aspek tinjauan. Di Indonesia, kajian yang terkait dengan sebaran spesies dari genus *Coptotermes* ini belum ditemukan dalam artikel penelitian, padahal kelompok rayap ini sangat penting secara ekonomis. Selain itu, spesies dari genus ini yang tersebar di Sulawesi Selatan belum diketahui dengan tepat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Taksonomi dan Sistematika Rayap

Rayap merupakan salah satu ordo dari 30 ordo yang tergabung dalam kelas Hexapoda dari filum Arthropoda, yaitu organisme yang memiliki anggota tubuh bersegmen. Rayap adalah serangga satu-satunya yang berada dalam ordo Isoptera. Ordo ini berasal dari kata “*iso*: sama” dan “*ptera*: sayap” artinya serangga yang memiliki sayap yang sama, baik dilihat dari ukuran dan bentuk pada kedua pasang sayapnya, yaitu sayap anterior dan sayap posterior (Borror *et al.*, 2007).

1. Asal Isoptera

Rayap merupakan serangga neoptera teresterial yang paling primitif. Rayap bersama dengan Blattodea (kecoa) dan Mantodea (mantid) sering dikelompokkan dalam Dictyoptera. Studi filogenetik terbaru telah menyarankan mantid sebagai cabang terlama dari Dictyoptera, meninggalkan kecoa dan rayap sebagai kerabat (Lo *et al.*, 2003; Klass dan Meier, 2006). Kecoa yang paling primitif (Cryptocercidae) terkait erat dengan rayap (Lo *et al.*, 2000) karena memakan kayu, hidup dalam sistem terowongan di dalam log, memiliki flagelata simbiosis dalam usus belakang, dan hidup dalam kelompok famili sub-sosial yang kecil dimana

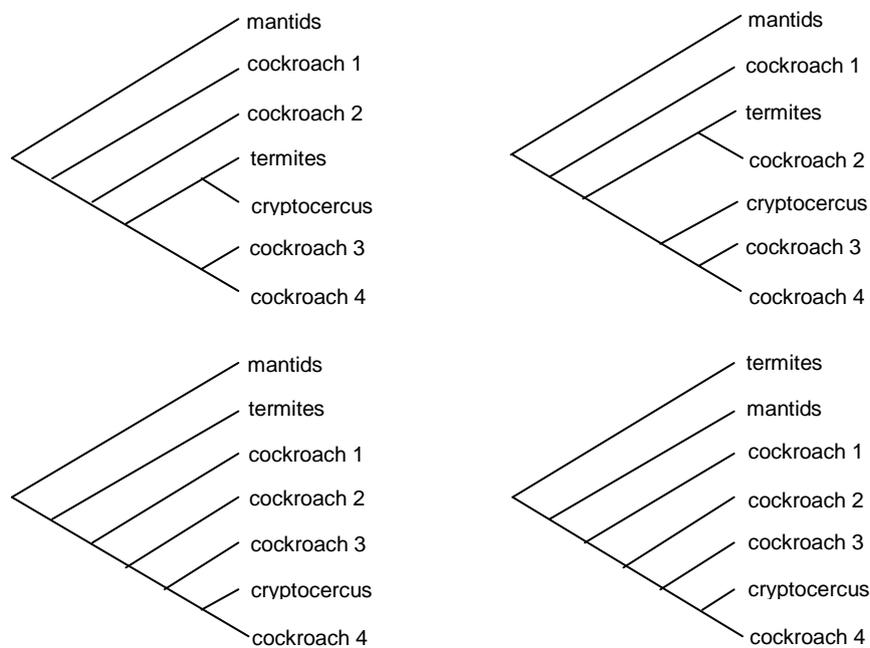
induk berbagi liang dengan satu keturunan induk dengan cairan proctodeal sebagai makanan (Bergamaschi, 2005).

Rayap paling primitif (Famili Mastotermitidae) hanya diwakili oleh satu spesies yaitu *Mastotermes darwiniensis*, yang merupakan spesies Australia Tropis dengan lokasi temuan terbaru di Gold Coast, Queensland (Peter dan Fitzgerald, 2008). Rayap ini sangat mirip dengan kecoa, yaitu rayap yang masih meletakkan telur di *ootheca*. Rayap ini memiliki tarsi bersegmen lima dan lobus anal di sayap belakang, seperti kecoa. Karena kesamaan ini, diusulkan bahwa rayap berevolusi serangga sosial (Lo *et al.*, 2003). Meskipun demikian, rayap tidak memiliki gambaran khas dari kebanyakan kecoa, yaitu tubuh pipih yang lebar dengan pronotum meluas sepanjang kepala sebagai perisai, sayap depan pendek dan tebal yang sedikit terproyeksikan keluar ujung abdomen, dan kaki sangat berduri. Oleh karena itu, rayap secara morfologi terlihat lebih sederhana dan lebih primitif daripada kecoa. Kecoa berkembang dengan bentuk tubuh lebih kuat yang sesuai untuk gaya hidup sebagai pemakan sisa makhluk hidup yang telah mati (*detrivorous*); sedangkan rayap sesuai untuk hidup dalam terowongan di dalam kayu atau substrat tanah dan mengembangkan integrasi keluarga dengan tingkatan yang lebih maju (Bergamaschi, 2005).

2. Posisi Isoptera dalam Dictyoptera (Insekta)

Hubungan antar ordo yang terdapat dalam kelas insekta yang direkonstruksi oleh beragam peneliti dalam bentuk pohon filogeni masih

bersifat kontroversial. Meskipun saat ini bukti memberatkan menunjukkan bahwa rayap (*termites*) tersarang dalam kecoa (*cockroach*), sehingga membuat “Blattaria” merupakan parafiletik. Posisi tepat rayap dalam kecoa tidak pasti, meskipun *Cryptocerus* adalah kelompok kerabat yang paling masuk akal (Eggleton, 2001; Klass *et al.*, 2007). Beberapa pohon filogeni yang menggambarkan hubungan ordo Isoptera dengan ordo lain dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Filogeni dictyoptera: angka setelah nama cockroach mengindikasikan clade cockroach terpisah (tidak spesifik) (Eggleton, 2001).

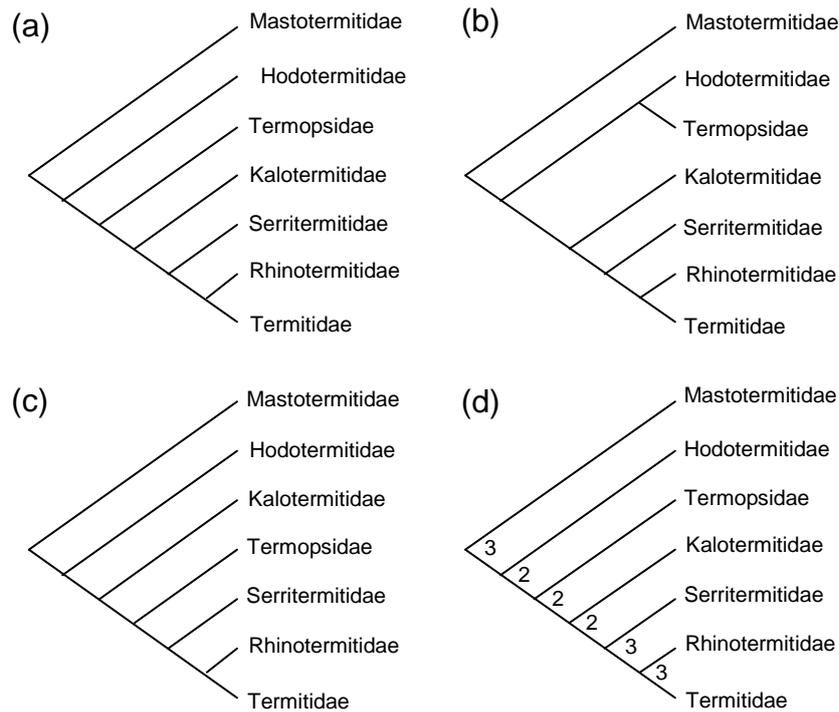
3. Hubungan Famili dalam Ordo Isoptera

Rayap yang termasuk kelompok serangga dari ordo Isoptera memiliki keragaman jenis dalam ekosistem yang cukup tinggi. Di dunia, jumlah rayap yang telah dideskripsikan mencapai 2.750 spesies (Evans *et al.*,

2013), yang tercakup dalam 281 genera dan 7 famili, yaitu Mastotermitidae (hanya 1 spesies: *Mastotermes darwiniensis*), Hodotermitidae, Termopsidae, Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae, and Termitidae (Eggleton, 2001; Inward *et al.*, 2007; Korb, 2008). Di Indonesia telah ditemukan sekitar 10% dari total rayap dunia, yang mencakup 3 famili yaitu Kalotermitidae, Rhinotermitidae dan Termitidae, 6 subfamili dan 14 genus; dan di antaranya terdapat sekitar lima persen yang bersifat merugikan bagi manusia (Tarumingkeng, 2001). Sejumlah peneliti merekonstruksi filogeni hubungan antara ketujuh famili tersebut berdasarkan data subset karakter, seperti morfologi umum (Donovan *et al.*, 2000), mandibel imago-pekerja (Ahmad, 1950), dan usus pekerja (Noirot, 1995).

Hubungan antar famili dalam ordo Isoptera lebih mudah terselesaikan dalam rekontruksi filogeni. Umumnya, Mastotermitidae diterima sebagai kelompok rayap paling dasar. Termopsidae, Hodotermitidae dan Kalotermitidae adalah dasar bagi ketiga famili lainnya, yaitu Termitidae, Serritermitidae dan Rhinotermitidae; meskipun posisi kekerabatannya dalam bagian tersebut dari pohon filogeni masih dipertentangkan. Kebanyakan hasil penelitian mendukung hubungan Serritermitidae, Termitidae dan Rhinotermitidae sebagai satu kelompok kerabat. Meskipun demikian, tidak ada penelitian yang belum menemukan secara jelas monofiletik Rhinotermitidae. Termitidae mapan sebagai monofiletik dan sebagai famili rayap paling ujung dalam pohon filogeni.

Namun, dalam famili Termitidae monofilik dari subfamili tidak ada yang mapan, sehingga membuat analisis pada level subfamili tidak terandalkan (Eggleton, 2001). Sejumlah pohon filogeni yang menggambarkan hubungan antar famili dalam ordo Isoptera disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Filogeni tingkat famili pada rayap: (a) Donovan *et al.* (2000); (b) Thompson *et al.* (2000); (c) Kambhampati dan Eggleton (2000); (d) *Majority rule consensus* (Eggleton, 2000).

B. Rayap Genus *Coptotermes*

Coptotermes adalah genus tunggal dalam subfamili Coptotermitinae yang merupakan subfamili paling primitif dari famili Rhinotermitidae. Rayap ini tersebar luas di daerah tropis dan telah diintroduksi oleh manusia ke seluruh dunia (Krishna, 1970). Semua spesies *Coptotermes* mengkonsumsi kayu dan menjadi hama struktural

dan bangunan yang penting secara ekonomis. Genus ini memiliki jumlah spesies yang paling banyak menimbulkan kerusakan di antara genera rayap lainnya, yaitu 28 spesies, yang diikuti secara berurutan oleh genus *Odontotermes* (16 spesies), *Microtermes* (15 spesies), *Reticulitermes* (11 spesies), dan *Heterotermes* (10 spesies) (Su dan Scheffrahn, 2000). Pada proses pencernaan makanannya, sebagaimana halnya semua anggota koloni rayap lainnya, rayap *Coptotermes* dibantu oleh mikrofauna protozoa flagellata yang berada di usus belakangnya (Honigberg, 1970), yaitu *Pseudotrichonympha grasioi* Koidzumi, *Holomastigotoides hatmanni* Koidzumi, dan *Spirotrichonympha leidyi* Koidzumi, dengan kemampuan mendekomposisi selulosa yang berbeda tergantung pada derajat polimerisasi (PD) selulosa yang dijadikan sebagai sumber makanan (Yoshimura, 1995). Penelitian tentang jalur degradasi selulosa oleh protozoa menunjukkan bahwa protozoa memfermentasi selulosa menjadi asetat, karbondioksida dan hidrogen, selanjutnya rayap akan mengabsorpsi asetat sebagai sumber energi (Hungate, 1939).

1. Klasifikasi

Secara klasik, rayap dibagi atas dua kelompok, yaitu rayap tingkat rendah yang mencakup semua famili kecuali Termitidae; dan rayap tingkat tinggi yang semua anggotanya dari Termitidae, yang mencapai sekitar 75% dari total semua spesies rayap (Korb, 2008). Rayap tingkat rendah dicirikan oleh adanya protozoa simbiotik pada usus belakangnya, yang

membantu mencerna selulosa; sebaliknya pada rayap tingkat tinggi tidak memiliki protozoa (Matsui *et al.*, 2009). Ahli protozoa dan serangga telah menemukan genera dan spesies khusus dari flagellata *oxymonad*, *trichomonad*, dan *hypermastigote* yang terbatas pada empat famili dari rayap tingkat rendah, yaitu Mastotermitidae, Hodotermitidae, Kalotermitidae, dan Rhinotermitidae. Flagellata tersebut mencerna partikel kayu yang sangat dibutuhkan untuk kelangsungan hidup rayap; dan antara keduanya membentuk hubungan simbiosis mutualisme sejati (Honigberg, 1970). Dalam literatur lain disebutkan bahwa pada rayap tingkat rendah selain protozoa juga terdapat bakteri yang bersimbiosis di saluran pencernaannya, sedangkan pada rayap tingkat tinggi hanya terdapat bakteri (Brune dan Friedrich, 2000; Brune, 2006).

Rayap juga dapat dikelompokkan berdasarkan preferensi makan. Pengelompokan ini menggambarkan kesukaan makan yang berhubungan dengan gradien humifikasi dari substrat yang digunakan rayap, dan variasi jumlah fragmen jaringan tanaman (dari hancuran bahan organik) dan silika (dari bahan induk tanah) pada usus (Donovan *et al.*, 2001). Pengelompokan yang dikenal sebagai "*Donovan's feeding group*" ini terbagi atas empat, yaitu:

- a. Group I: kelompok ini memakan kayu mati dan rumput, serta memiliki usus yang relatif sederhana. Kelompok ini diwakili oleh semua rayap tingkat rendah (Mastotermitidae, Kalotermitidae, Rhinotermitidae, dan Serritermitidae). Hampir semua rayap pemakan kayu (*wood-feeders*),

kecuali Hodotermitidae yang juga termasuk pemakan rumput (*grass-feeders*).

- b. Group II: kelompok ini memakan kayu, rumput, serasah daun, dan mikroepifit, serta memiliki usus yang lebih kompleks. Kelompok ini diwakili oleh beberapa spesies Termitidae, yang mencakup rayap pemakan kayu, pemakan rumput, pemakan serasah (*litter-feeders*), pemakan mikroepifit (*microepiphyte feeders*). Macrotermitinae penumbuh jamur juga termasuk di dalamnya, meskipun dapat juga ditempatkan sebagai kelompok yang terpisah, yaitu group II–fungus .
- c. Group III: kelompok ini memakan humus, yaitu material seperti tanah yang mengandung bahan tumbuhan yang masih dapat dikenali di dalamnya. Kelompok ini mencakup spesies Termitidae yang memakan kayu yang mengalami pelapukan hebat yang dicirikan oleh hilangnya struktur serta menjadi terpisah-pisah dan menyerupai tanah; dan juga memakan tanah dengan kandungan bahan organik tinggi. Rayap ini dapat dipertimbangkan sebagai *organic-rich-soil-feeders* atau *humus-feeders*, atau *soil/wood interface feeders*.
- d. Group IV: kelompok ini memakan tanah, yaitu material seperti tanah yang mengandung proporsi tinggi silika dan bahan tumbuhan yang sudah tidak dapat dikenali. Kelompok ini mencakup spesies Termitidae yang memakan tanah dengan kandungan bahan organik rendah, yang dianggap sebagai *true-soil-feeders*.

Dalam sistem taksonomi, rayap *Coptotermes* yang merupakan salah satu genus dari famili Rhinotermitidae (Harris, 1971), memiliki sistematika sebagai berikut:

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta (Hexapoda)
Ordo : Isoptera
Famili : Rhinotermitidae
Subfamili : Coptoterminae
Genus : *Coptotermes*
Spesies : *Coptotermes havilandi* Holmgren

2. Sebaran

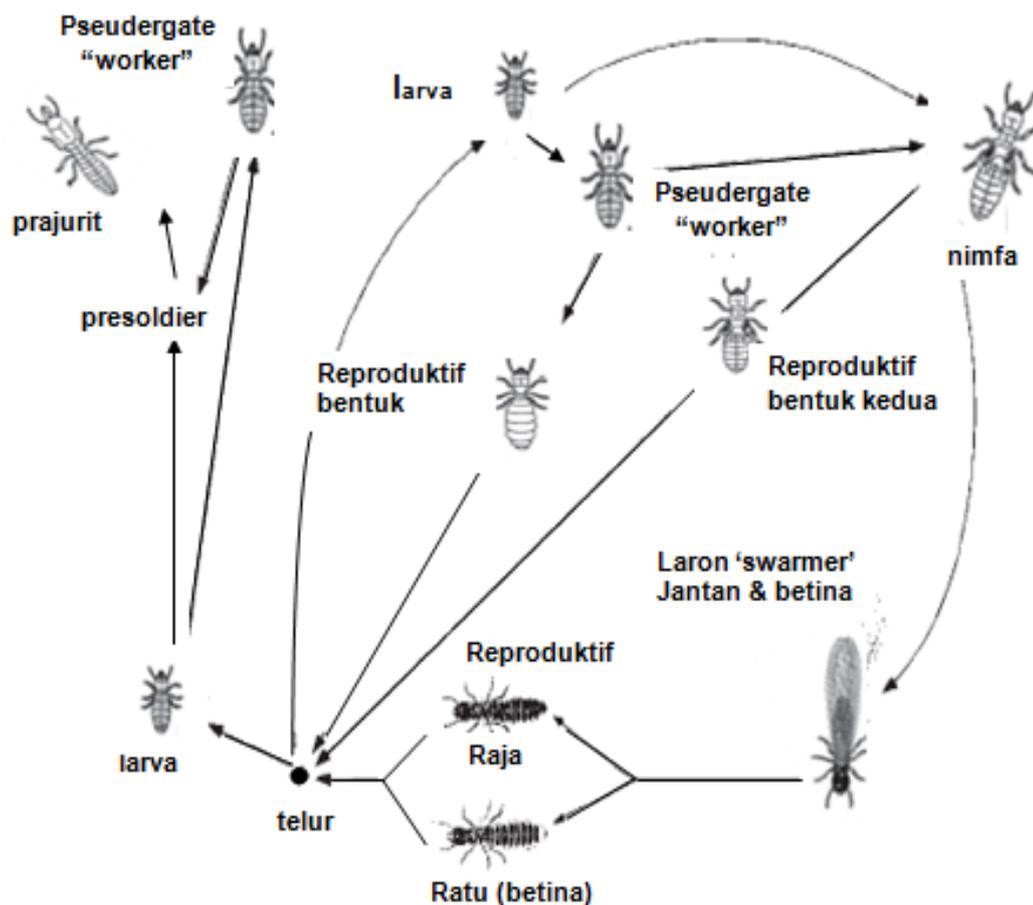
Rayap tersebar secara alami pada daerah tropis dan subtropis (Su dan Scheffrahn, 2000), namun sebarannya kini cenderung meluas ke daerah sedang (*temperate*) dengan batas-batas 50° Lintang Utara dan 50° Lintang Selatan. Di daerah tropis rayap ditemukan mulai dari pantai sampai ketinggian 3.000 m di atas permukaan laut (Nandika *et al.*, 2003). Keragaman dan kelimpahan rayap tertinggi di hutan hujan Afrika, Amerika Selatan, dan Asia Tenggara (Bignell dan Eggleton, 1998). Kekayaan spesies tertinggi juga ditemukan di hutan hujan tropis dataran rendah, dan cenderung menurun dengan meningkatnya ketinggian tempat (*latitude*) (Eggleton *et al.*, 1994) dan lintang (*altitude*) (Gathorne-Hardy *et al.*, 2001).

Survey rayap yang dilakukan di dua habitat hutan primer yang berada di ketinggian 1.000 meter di Maliau Basin (Malaysia) menunjukkan kekayaan spesies dan kelimpahan relatif rayap pemakan kayu (*wood-feeding termites*) sama yang ditemukan di kedua tipe hutan, yaitu hutan pegunungan rendah dan hutan pegunungan tinggi dengan tanaman yang kerdil; sedangkan pada rayap yang mencari makan di tanah (*soil-dwelling termites; soil-feeding termites*) lebih banyak ditemukan pada hutan pegunungan rendah (Jones, 2000). Selain itu, gradien intensifikasi penggunaan lahan di hutan hujan dataran rendah di Provinsi Jambi juga ditemukan berdampak pada penurunan kekayaan spesies rayap (Jones *et al.*, 2003).

Penyebaran rayap juga dipengaruhi oleh keberadaan vegetasi, yang sangat berhubungan dengan suhu dan curah hujan, sehingga sebagian besar rayap terdapat di dataran rendah tropika dan hanya sebagian kecil ditemukan di dataran tinggi tropika (Aini, 2005). Rayap yang berbeda genera atau berbeda jenis dari genus yang sama dapat memiliki toleransi suhu yang berbeda. Rayap *C. formosanus* memiliki toleransi suhu yang lebih tinggi dibandingkan rayap *Reticulitermes flavipes* Kollar yang berasal dari famili yang sama, yaitu famili Rhinotermitidae (Nandika *et al.*, 2003).

3. Siklus Hidup dan Kasta

Dalam perkembangan hidupnya, rayap mengalami metamorfosis tidak sempurna, dengan tiga tahapan umum perkembangan, yaitu telur, pra-dewasa dan dewasa. Siklus hidup rayap (Gambar 3) meliputi: telur, nimfa yang dihasilkan dari penetasan telur, *pseudergate* (nimfa dewasa yang memiliki pucuk sayap dan siap jadi laron/*alate*), kasta pekerja, kasta prajurit dan kasta reproduktif (Baker dan Marchosky, 2005).



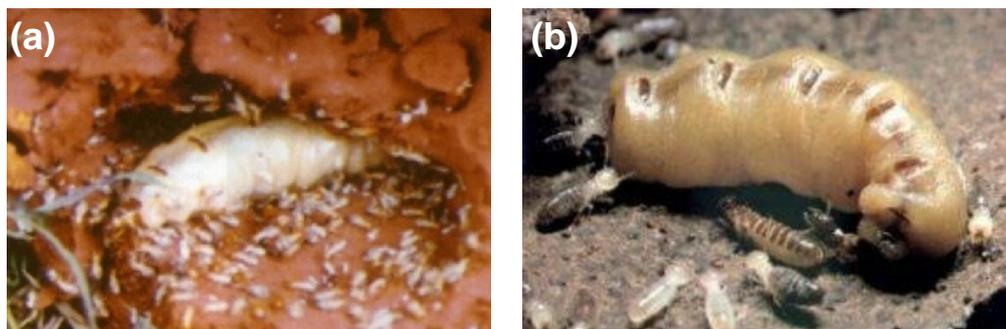
Gambar 3. Siklus hidup rayap tanah *Reticulitermes* (Gold *et al.*, 1914)

Koloni rayap sangat terstruktur dan memiliki kasta yang menjalankan tugas yang sangat berbeda. Ada tiga kasta yang bervariasi

dalam bentuk dan fungsi. Sistem kasta ini dalam koloni rayap sangat dinamis, yang diuraikan sebagai berikut:

a. Kasta Reproduksi

Kasta ini menghasilkan semua anggota koloni dan berperan penting dalam penyebaran dan pembentukan koloni baru. Kasta ini memiliki tiga tipe reproduktif pada suatu koloni, yaitu reproduktif primer, sekunder dan tersier. Reproduksi primer (ratu dan raja) dihasilkan dari laron atau rayap bersayap yang membentuk sarang baru setelah sukses melewati proses *swarming* (Harris, 1971). Ratu dicirikan oleh bentuk tubuh besar yang bersegmen yang berisi telur, sedangkan raja biasanya berada di sekitar ratu dengan ukuran badan yang lebih kecil dari ratu di ruang khusus atau *central nursery chamber* (Gambar 4). Pada rayap *C. formosanus*, kasta reproduktif (ratu) memiliki umur sekitar 15 tahun dan mampu memproduksi hingga 2.000 telur per hari (Grace *et al.*, 1996).

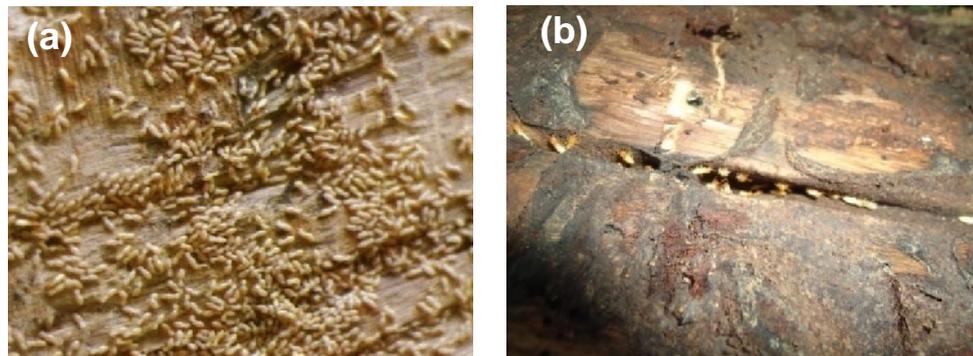


Gambar 4. (a) reproduktif primer (ratu) yang dikelilingi rayap pekerja di ruangan khusus dalam sarang (Prasetiyo dan Yusuf, 2005); (b) raja yang berada di dekat ratu dengan ukuran badan lebih kecil (Fumapest, 2013).

Genus *Coptotermes* juga memiliki kemampuan menghasilkan neoten, yaitu rayap reproduktif yang menggantikan kedudukan reproduktif primer (ratu). Keberadaan neoten memungkinkan koloni rayap tetap dipertahankan setelah kematian reproduktif primer, dengan menyediakan alternatif untuk penyebaran koloni oleh laron dan mengatur ukuran populasi dari waktu ke waktu (Myles, 1988).

b. Kasta Pekerja

Kasta pekerja merupakan anggota yang sangat penting dalam koloni rayap, dengan jumlah populasi tidak kurang dari 80-90%. Kasta ini dicirikan oleh tanpa sayap, buta, dapat berkelamin jantan atau betina, umumnya berwarna pucat (putih atau krem) dengan kutikula hanya sedikit mengalami penebalan sehingga tampak menyerupai nimfa (Gambar 5a). Untuk mencegah pengeringan, pekerja tinggal di bawah tanah, di dalam kayu atau di dalam terowongan yang dibangun (Gambar 5b). Rayap ini jarang terlihat kecuali sarangnya terbuka. Kebanyakan pekerja menghabiskan seluruh hidupnya untuk mencari makan dan memelihara koloni. Pekerja memberi makan seluruh koloni, membangun tabung lumpur, menggali dan memperbaiki sarang ketika rusak. Para pekerja muda tinggal dalam sarang merawat telur dan nimfa; sedangkan para pekerja yang lebih tua, lebih kuat dan lebih besar membangun sarang dan mencari untuk makanan. Rayap pekerja dapat mencapai dewasa dalam setahun dan bisa hidup sekitar dua tahun (Nandika *et al.*, 2003).



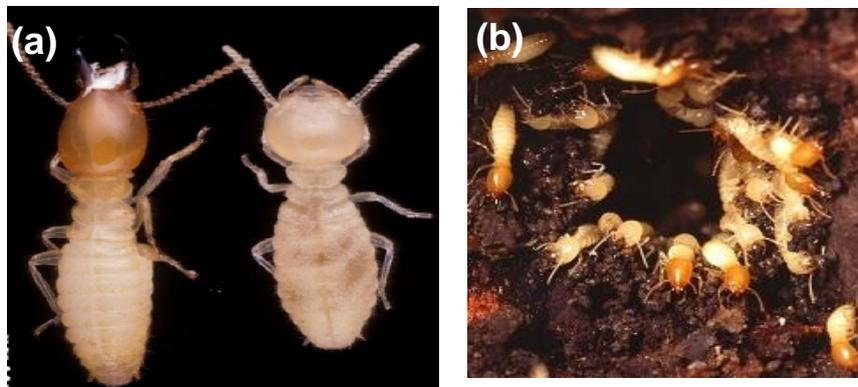
Gambar 5. Kasta pekerja *Coptotermes*: (a) menyerang kayu (Pprasetyo dan Yusuf, 2005), (b) sarang dan terowongan pada pohon jambu mete (*A. occidentale*) di Kabupaten Luwu.

Rayap pekerja dan prajurit dapat hidup 3-5 tahun dengan proporsi kasta sekitar 360 pekerja: 40 tentara (Grace *et al.*, 1996). Suatu koloni biasanya dikelilingi oleh suatu sistem pencarian makan yang luas yang terdiri atas terowongan bawah tanah. Pada koloni dewasa dapat berisi jutaan rayap. Koloni yang kuat dan lebih tua biasanya memiliki lebih sedikit pekerja yang memiliki massa tubuh lebih besar daripada pekerja dari koloni muda. Satu koloni tunggal *C. formosanus* dapat menghasilkan lebih dari 70,000 laron (Su dan Scheffrahn, 2000), yang dapat membentuk koloni baru dari proses *swarming*. Pada koloni rayap tanah populasinya dapat mencapai 100.000 sampai 1.000.000 juta pekerja (*foragers*) dengan wilayah jelajah lebih dari 100 m (Su *et al.*, 1993).

c. Kasta Prajurit

Kasta prajurit dapat dikenali dari bentuk kepalanya yang besar dan mengalami penebalan yang nyata, serta rahang yang berkembang baik seperti terlihat pada Gambar 6a. Prajurit memiliki ukuran tubuh lebih besar

daripada pekerja, dengan jumlah anggota yang sangat sedikit dibandingkan pekerja. Prajurit tidak terlihat kecuali kayu atau terowongan rusak (Gambar 6b) untuk menghalau musuh alami. Secara praktis, genus yang termasuk famili Rhinotermitidae ini mudah diketahui karena adanya cairan berwarna putih yang dikeluarkan oleh prajurit pada saat mengigit musuhnya (Nandika *et al.*, 2003).



Gambar 6. *Coptotermes formosanus*: (a) Prajurit dan pekerja (Forestry Image, 2013); (b) prajurit yang keluar dari sarang yang terbuka (USDA, 2013).

4. Spesies *Coptotermes* yang Terdokumentasi Berasal dari Indonesia

Keberadaan rayap *Coptotermes* telah didokumentasi dalam sejumlah publikasi. Spesies rayap ini ditemukan dan tersebar di seluruh wilayah di Indonesia, seperti di Pulau Jawa (Subekti, 2004; Yeap *et al.*, 2009), Sulawesi (Pemberton, 1928; Takematsu *et al.*, 2000; Arif *et al.*, 2010), Kalimantan (Pemberton, 1928; Jones dan Prasetyo, 2002) dan Sumatera (Jones *et al.*, 2003). Beberapa spesies yang telah diidentifikasi dari wilayah Indonesia adalah: *C. curvignathus* dan *C. travians* diketahui

sebagai hama pada bangunan dan tanaman karet (Roonwal, 1970; Kalshoven, 1981); *C. gestroi* juga dikenal sebagai hama pada tanaman pertanian dan bangunan (Kirton dan Brown, 2003; Yeap *et al.*, 2009), *C. havilandi* (Harris, 1971); serta *Coptotermes* sp. (Takematsu *et al.*, 2000).

a. *C. curvignathus*

Spesies ini dikenal sebagai rayap berukuran terbesar dari genus *Coptotermes*. Deskripsi morfologi rayap ini yang dikemukakan dalam sejumlah literatur berbeda-beda, tergantung pada spesimen dan wilayah pengambilan sampel (Tho, 1992; Nandika dkk., 2003; Yeap *et al.*, 2009; Takematsu dan Vongkaluang, 2012). Dalam Tho (1992) diketahui ukuran dari 50 prajurit *C. curvignathus* dari 10 lokasi di Malaysia untuk panjang kepala pada dasar mandibel berkisar 1,51-1,85 mm dengan rata-rata 1,68 mm; ukuran lebar kepala pada dasar mandibel berkisar 0,65-0,82 mm dengan rata-rata 0,71; dan ukuran lebar maksimum kepala berkisar 1,28-1,58 mm dengan rata-rata 1,34 mm. Pengukuran terhadap 12 prajurit *C. curvignathus* dari Thailand yang dilakukan oleh Takematsu dan Vongkaluang (2012) juga menghasilkan ukuran morfometri yang berbeda, dengan ukuran panjang kepala pada dasar mandibel berkisar 1,52-1,75 mm dengan rata-rata 1,61 mm; ukuran lebar maksimum kepala berkisar 1,30-1,56 mm dengan rata-rata 1,43 mm; ukuran panjang mandibel kiri berkisar 1,04-1,18 mm dengan rata-rata 1,14 mm; ukuran panjang pronotum berkisar 0,57-0,65 mm dengan rata-rata 0,60 mm; ukuran lebar pronotum berkisar 0,98-1,14 mm dengan rata-rata 1,05 mm; ukuran

panjang postmentum berkisar 1,04-1,11 dengan rata-rata 1,06; serta ukuran lebar maksimum postmentum berkisar 0,42-0,46 mm dengan rata-rata 0,44 mm. Ukuran yang berbeda juga ditemukan oleh Yeap *et al.* (2009) terhadap rayap prajurit *C. curvignathus* dari dua lokasi di Malaysia dan satu lokasi Singapura. Gambaran spesies ini yang dikemukakan oleh Nandika dkk. (2003) juga memperlihatkan variasi ukuran, dengan ukuran lebar kepala 1,40-1,44 mm; lebar dan panjang pronotum berturut-turut 1,00-1,03 mm dan 0,56 mm; serta bagian abdomen berwarna putih kekuning-kuningan yang ditutupi dengan rambut yang menyerupai duri. Jumlah segmen antena yang dikemukakan dalam publikasi tersebut adalah 15-16 segmen.

b. *C. gestroi*

Rayap ini merupakan spesies hama utama dari *Coptotermes* yang berasal dari Asia Tenggara (Kirton dan Brown, 2003). Spesies *C. gestroi* yang dikoleksi dari wilayah Thailand oleh Takematsu dan Vongkaluang (2012) berdasarkan kunci determinasi diuraikan sebagai berikut: spesies berukuran lebih kecil, dengan panjang kepala kurang dari 1,5 mm; kepala berambut jarang; mandibel sedikit melengkung; kepala bagian depan cukup menyempit, dengan nilai indeks bHW/mHW (perbandingan lebar kepala pada dasar mandibel dengan lebar maksimum kepala) lebih dari 0,58; bagian tersempit dari postmentum terletak pada $\frac{1}{2}$ jarak antara titik terlebar dan margin posterior. Jumlah antena dari rayap ini adalah 14-15 segmen.

c. *C. travians*

Rayap prajurit *C. travians* yang diuraikan oleh Tho (1992) memiliki kepala ovoid, berwarna kuning sampai orange, kepala menyempit sedikit pada bagian depannya, mandibel dengan lengkungan yang dimulai tepat melewati titik pertengahan panjangnya. Hasil pengukuran terhadap 25 prajurit dari 5 koloni yang berbeda menunjukkan panjang kepala pada dasar mandibel bervariasi antara 1,25-1,34 mm dengan rata-rata 1,29 mm; lebar kepala pada dasar mandibel berkisar 0,63-0,68 mm dengan rata-rata 0,65 mm; dan lebar maksimum kepala berkisar 0,68-0,77 mm dengan rata-rata 0,72 mm. Rayap ini disebutkan sulit dibedakan dengan *C. gestroi* hanya dengan berdasarkan pada kriteria ukuran kepala prajurit.

d. *C. havilandi*

Rayap ini merupakan rayap asli Asia Tenggara, yang tersebar dari Thailand sampai Jawa, dan diintroduksi ke Mauritius, Madagascar, Barbados dan Jamaica (Harris, 1971). Rayap yang dikenal *Haviland's subteranean termites* ini oleh Kirton dan Brown (2003) ditetapkan sebagai nama kedua baru yang diberikan kepada rayap yang sebelumnya sudah memiliki nama *C. gestroi*.

e. *Coptotermes* sp.

Rayap *Coptotermes* sp. ini dideskripsikan oleh Takematsu *et al.* (2000) dari spesimen yang dikumpulkannya dari Pulau Sulawesi, dengan karakteristik yang dimilikinya berbeda dengan yang terdapat pada *C.*

curvignathus maupun *C. gestroi*. Karakteristik morfometri kepala prajurit *Coptotermes* sp. yang diamati Takematsu *et al.* (2000) meliputi: ukuran kepala berkisar 1,26-1,33 mm dengan rata-rata 1,29 mm; lebar kepala maksimum berkisar 1,09-1,16 mm dengan rata-rata 1,11 mm; lebar kepala minimum berkisar 0,67-0,71 mm dengan rata-rata 0,69 mm; dan panjang mandibel berkisar 0,84-0,92 mm dengan rata-rata 0,86 mm. Jumlah segmen antena yang ditemukan tidak dideskripsikan dengan jelas secara kuantitatif.

5. Kelimpahan Spesies

Kelimpahan merupakan satu konsep ekologi yang merujuk pada keterwakilan suatu spesies dalam ekosistem tertentu. Biasanya diukur sebagai jumlah individu yang ditemukan per sampel. Bagaimana kelimpahan spesies terdistribusi dalam ekosistem dinyatakan sebagai kelimpahan relatif spesies (*relative species abundances*). Kelimpahan relatif spesies menunjukkan seberapa umum atau langka suatu spesies relatif terhadap spesies lainnya dalam suatu lokasi tertentu atau komunitas (Hubbell, 2001). Lebih lanjut dikemukakan bahwa sebaran kelimpahan relatif spesies biasanya dinyatakan dalam bentuk grafik sebagai histogram frekuensi (Preston plot) atau diagram tingkat kelimpahan (Whittaker plot). Kelimpahan relatif spesies bersama dengan kekayaan spesies menggambarkan elemen kunci dari keragaman hayati.

Pada dasarnya, kelimpahan rayap dipengaruhi oleh banyak faktor. Kelimpahan relatif rayap menurun akibat penggunaan lahan (Jones *et al.*, 2003) dan fragmentasi habitat (Davies, 2002). Selain faktor lingkungan seperti perubahan lingkungan (Lima, 2000; Eggleton *et al.*, 2002), pengaruh vegetasi terhadap kelimpahan rayap banyak dipublikasi oleh peneliti seperti asal vegetasi eksotik dan asli (Scheffrahn *et al.*, 2009), tipe habitat (Tracy *et al.*, 1998; Korb dan Linsenmair, 2001) dan perbedaan tegakan pohon (Wang dan Powell, 2001).

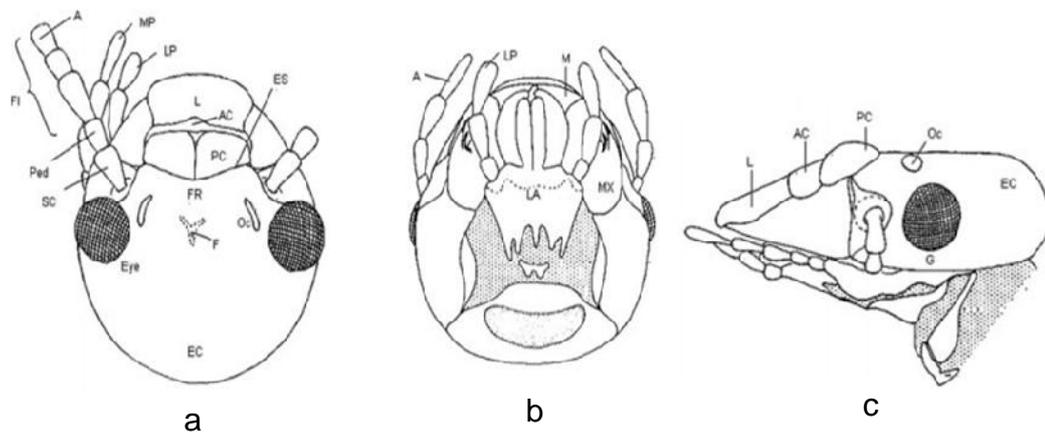
C. Identifikasi Jenis Rayap

Identifikasi spesies dan subspecies pada rayap telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan, antara lain: morfologi (Fusheng *et al.*, 1988; Donovan *et al.*, 2000; Manzoor, 2002), near-infrared reflectance spectroscopy (Aldrich *et al.*, 2007), cuticular hydrocarbon (Kaib *et al.*, 1991; Haverty *et al.*, 1992), dan molekular (Austin *et al.*, 2004b; Szalanski *et al.*, 2004). Pada Genus *Coptotermes*, penggunaan pendekatan morfologi dan molekular secara bersamaan merupakan hal yang penting dalam memastikan identifikasi spesies yang akurat (Lee *et al.*, 2005; Yeap *et al.*, 2009).

1. Pendekatan Morfologi

Morfologi prajurit merupakan sumber yang sangat penting dalam karakter taksonomi rayap. Morfologi dari kapsul kepala, mandibel, labrum,

dan fontanel yang sangat beragam dapat digunakan sebagai penciri pada level genera dan spesies (Eggleton, 2011). Kepala dan bagian-bagiannya pada semua kasta rayap hampir sama sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 7, kecuali pada rayap prajurit memiliki mandibel yang berkembang dengan baik dan mengalami modifikasi sesuai dengan fungsinya untuk mempertahankan anggota koloni dari musuh alami atau predator lainnya.



Gambar 7. Kepala dari laron *Tenuirostritermes cinereus* Buckley. a: penampakan dorsal; b: penampakan lateral; c: penampakan ventral. (A) antena; (Ac) anteclypeus; (C) sklerit servikal pertama; (C₂) sklerit servikal kedua; (Ca) cardo; (Ce) mata majemuk; (E) epistomal suture; (Ep) epicranium; (F) fontanel; (Fm) foramen magnum; (G) glossa; (Ge) gena; (L) labium; (La) lacinia; (Lp) labial palp; (M) membrane; (Ma) mandibel; (Mp) maxillary palp; (O) ocellus; (P) palpifer; (pc) postclypeus; (Pg) paraglossa; (Pm) prementum; (Po) postmentum; (S) stipes (Weesner, 1969).

Secara morfologi, genus *Coptotermes* ini dapat dikenali dengan adanya karakteristik kepala dengan fontanel, pronotum datar, mandibel berbentuk mandau (*saber*) tanpa adanya gigi marginal, serta fontanel

yang sangat lebar dan dekat ke clypeus (Sornnuwat *et al.*, 2004). Namun secara praktis, genus ini dengan mudah diketahui karena adanya cairan berwarna putih yang dikeluarkan oleh prajurit pada saat menggigit musuhnya (Nandika *et al.*, 2003).

Penggunaan anatomi eksternal kepala prajurit telah digunakan sejumlah peneliti dalam penentuan spesies rayap pada *Coptotermes*. Penelitian Takematsu dan Vongkaluang (2012) yang mereview taksonomi rayap famili Rhinotermitidae, termasuk genus *Coptotermes*, dari Thailand menggunakan 11 karakter dan 3 indeks morfologi rayap prajurit, yaitu kepala (panjang kepala tanpa mandibel, lebar kepala maksimum, lebar kepala pada dasar mandibel), mandibel (panjang mandibel kiri, jarak dari ujung gigi apikal ke gigi marginal pertama pada mandibel kiri, jarak dari gigi marginal pertama ke gigi marginal kedua pada mandibel kiri), pronotum (panjang dan lebar maksimum), postmentum (panjang dan lebar maksimum), serta jumlah segmen pada antena. Yeap *et al.* (2009) dalam membedakan spesies *Coptotermes* dari Asia Timur dan Australia telah mengkombinasikan karakter morfologi prajurit dengan analisis molekuler. Karakter morfologi rayap prajurit yang digunakan sebagai penciri spesies adalah 8 karakter, yaitu kepala (panjang kepala pada dasar mandibel, lebar maksimum kepala, lebar kepala pada dasar mandibel), pronotum (panjang dan lebar maksimum), postmentum/gula (panjang, lebar minimum dan maksimum).

Dalam identifikasi maupun taksonomi rayap, penggunaan morfologi rayap pekerja tidak sebanyak rayap prajurit. Pada dasarnya kepala, toraks dan abdomen pada rayap pekerja memiliki kesamaan dengan rayap bersayap atau laron, kecuali bahwa pekerja tidak memiliki sayap dan struktur alat kelamin (Eggleton, 2011). Meskipun morfologi rayap pekerja tidak terlalu variatif, namun mandibelnya berkembang sangat baik sehingga seringkali digunakan sebagai pembeda dalam identifikasi spesies. Dalam mereview rayap Nasutitermitinae dari Asia Tenggara, Gathorne-Hardy (2001) telah menggunakan mandibel pekerja sebagai salah satu ciri pembeda dari genera.

2. Pendekatan Molekuler

Aplikasi teknik genetik molekuler telah digunakan untuk keperluan identifikasi spesies dengan penggunaan perangkat berbasis-PCR (Vargo dan Husseneder, 2009). Selanjutnya dikemukakan bahwa keuntungan dari metode diagnostik ini, yaitu (a) meninggalkan beberapa kesamaran yang dihasilkan dari identifikasi spesies berbasis kunci morfologi, (b) dapat digunakan dengan kasta lain atau berbagai tahapan perkembangan pada organisme, dan (c) dapat dilakukan pada satu individu. Oleh karena itu, teknik ini memungkinkan berbagai penelitian yang lebih ekstensif dari berbagai spesies, untuk deteksi spesies yang diintroduksi ke dalam lokasi di luar wilayah spesies asli, dan untuk penentuan kelimpahan relatif spesies pada area geografis tertentu.

Penggunaan teknik genetik molekuler telah banyak digunakan untuk penentuan status rayap dari berbagai wilayah geografis. Penelitian tentang hubungan filogenetik *C. gestroi* yang menggunakan tiga gen, yaitu 16S ribosomal RNA (16S rRNA), cytochrome oxidase subunit II (COII), dan internal transcribe spacer array (ITS), dapat menjelaskan hubungan genetik yang erat antara sampel *C. gestroi* dari Singapura dan Ohio; sedangkan sampel rayap dari Australia, Puerto Rico, dan Key West, Florida lebih terkait erat dengan rayap yang berasal dari Malaysia (Jenkins *et al.*, 2007).

D. Kepentingan Genus *Coptotermes*

Keberadaan rayap, khususnya genus *Coptotermes*, dapat ditinjau dari dua aspek, yaitu aspek ekologis dan aspek ekonomis.

1. Aspek Ekologis

Rayap merupakan kelompok serangga sosial, termasuk di dalamnya genus *Coptotermes*, yang sangat berhasil melakukan perkembangan selama lebih 300 juta tahun dan menyusun suatu komponen ekosistem terpadu karena kesuksesannya dalam menginvasi habitat baru. Karena kisaran distribusi yang sangat luas, rayap telah mengalami gangguan sistem ekologi yang nyata yang menyebabkannya dianggap sebagai perusak secara ekonomi. Meskipun demikian, rayap merupakan fauna tanah yang sangat penting karena memberikan pengaruh nyata terhadap

sifat fisik dan kimia tanah. Rayap diketahui berperan penting dalam dekomposisi serasah dan membantu menjaga struktur tanah dengan cara memodifikasi karakteristik kimiawi tanah sebagai hasil perbaikan tanah. Rayap dapat digunakan dan dikelola, bersama dengan sumberdaya organik yang tersedia secara lokal, untuk menetralkan degradasi lahan. Lapisan tanah dihancurkan melalui penggalian terowongan oleh rayap. Ada tiga tipe lubang galian yang dapat dibentuk, yaitu: (1) yang berada di bawah permukaan tanah, (2) yang membentuk terowongan atau saluran, dan (3) yang berupa konstruksi sarang (Pardeshi dan Prusty, 2010). Spesies *Coptotermes* sendiri memiliki kemampuan membangun bahan 'karton' untuk sarang dan menutupi lubang atau celah di atas tanah. Karton terdiri atas tanah dan selulosa yang dicampurkan dengan *fecal* dan sekresi saliva. Karton ini dapat menjaga kelembaban sehingga rayap dapat bertahan hidup saat melakukan perjalanan menuju ke material yang akan diserangnya (Jenkins *et al.*, 2002).

Hasil penelitian terhadap sarang berbentuk gundukan tanah dari *Nasutitermes* dan *Macrotermes* oleh Asawalam dan Johnson (2007) juga menunjukkan tanah tersebut sangat berpotensi untuk keperluan pertanian berdasarkan analisis kandungan makro- dan mikro-nutriennya. Aktivitas rayap meningkatkan pH tanah, kandungan bahan organik dan kapasitas tukar kation, dimana kandungan nitrogen dan fosfor, serta konsentrasi tembaga (Cu), molybdenum (Mo) dan mangan (Mn) relatif lebih tinggi dibandingkan tanah yang tidak dimodifikasi oleh fauna tanah. Hal yang

sama juga ditemukan pada sifat fisik tanah, yang telah mengalami perubahan distribusi ukuran partikel dan kelas tekstur tanahnya.

Keberadaan rayap juga diduga sangat penting dalam merehabilitasi area pertambangan bauxite, dengan ditemukannya spesies *Amitermes obeuntis* Silvestris dan *C. acinaciformis raffayai* Wasmann (Bunn, 1983). Bahkan keberadaan rayap bisa mempengaruhi pola penyebaran vegetasi. Rayap (*Odontotermes* n. *Pauperans*) sangat mempengaruhi pola beberapa spesies rerumputan; sebaliknya jenis lain seperti *Microtermes toumodiensis* Wasmann dan *Ancistrotermes cavithorax* Sjoestedt tidak atau sedikit mempengaruhi distribusi spesies rerumputan (Jouquet et al., 2004).

2. Aspek Ekonomis

a. Spesies Destruktif yang Ditemukan di Indonesia

Secara umum, spesies rayap dari genus *Coptotermes* hampir semuanya menimbulkan kerugian dari tinjauan ekonomis. Sejumlah penelitian telah mencatat jenis *Coptotermes* yang ditemukan menimbulkan kerusakan di Indonesia, seperti *C. gestroi* (Yeap et al., 2009) dan *C. curvignathus* (Kalshoven, 1981).

Rayap *C. gestroi* (Wasmann), yang dikenal sebagai *Asian subterranean termite (AST)*, merupakan jenis rayap tanah yang penting secara ekonomi di Asia Tenggara. Rayap ini berkontribusi antara 63 - >90% dari total kerusakan bangunan dan struktural di Semenanjung

Malaysia, Singapura dan Thailand (Lee, 2002; Lee *et al.*, 2007). Jenis ini berasal dari daerah Indo-Malaya, dengan penyebaran aslinya dari Assam melalui Burma dan Thailand ke Malaysia dan kepulauan Indonesia (Kirton dan Brown, 2000). Di Indonesia, spesies ini ditemukan di daerah Cibinong dan Bogor, dan tidak didapatkan informasi tentang keberadaannya di Pulau Sumatera, Kalimantan dan Sulawesi (Yeap *et al.*, 2009). Selain itu, spesies ini juga ditemukan tersebar di sejumlah wilayah di dunia, seperti Bahama, Turki dan Pulau Caicos di kepulauan Karibia (Scheffrahn *et al.*, 2006), Florida (Cabrera *et al.*, 2005), dan Brazil (Constantino, 1998).

Rayap *C. curvignathus* juga dikenal banyak menimbulkan banyak kerusakan, baik pada tanaman pertanian maupun bangunan. Di Asia Tenggara, rayap ini dapat menyerang tanaman yang sehat, dengan cara membuat sarang dari lumpur dan menyerupai karton di sekitar dasar batang tanaman, serta membentuk liang-liang dengan lubang-lubang tertentu ke dalam jaringan yang hidup dan akhirnya membunuh pohon. Di Indonesia, jenis ini ditemukan di wilayah Jakarta (Primanda *et al.*, 2003), dan ditemukan menyerang pohon akasia, gmelina, dan eukaliptus (Sumardi dan Widyastuti, 2004). Rayap ini juga ditemukan hidup di hutan Sumatera dan Malaysia khususnya di dataran rendah dan daerah regional dengan curah hujan yang merata (Kalshoven, 1981).

b. Teknik Mendeteksi Kerusakan Kayu oleh Rayap

Kerusakan kayu akibat serangan rayap dapat dideteksi dengan menggunakan berbagai metode pengujian. Pengujian ini dilakukan untuk

mengetahui keawetan alami kayu (*natural durability*) ataupun mengetahui ketahanan kayu yang telah mengalami perlakuan pengawetan. Di laboratorium, *termite feeding test* telah digunakan beberapa peneliti untuk menilai ketahanan kayu terhadap serangan rayap, melalui *no-choice feeding test* dan *choice feeding test* (Kartal dan Ayrilmis, 2005; Katsumata *et al.*, 2007; Unsal *et al.*, 2009; Nakayama dan Osbrink, 2010). Pengujian kerusakan kayu biasanya didasarkan pada standar yang ada, seperti Japan Wood Preserving Association (JWPA) standard JWPS-TW-P.1 (Kartal *et al.*, 2007) dan AWWA E1-06 standard method (Unsal *et al.*, 2009). Untuk pengujian lapangan, evaluasi ketahanan kayu dapat mengacu pada standar seperti AWWA Standard E7-07-2007 (Green *et al.*, 2010). Metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi produk kayu yang berhubungan dengan tanah tersebut adalah metode uji kubur atau *grave-yard (in-ground vertical exposure method)* (Cookson, 2004; Lenz *et al.*, 2012).

E. Gen Mitochondrial Cytochrome Oxidase Subunit II

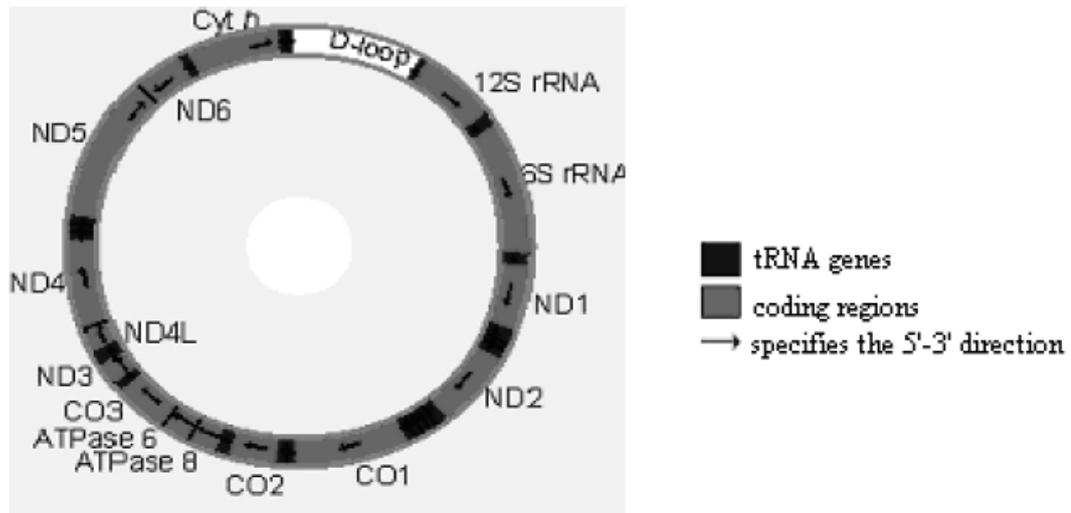
Mitochondrial DNA (mtDNA) yang terletak dalam mitokondria memiliki beberapa keuntungan dalam studi spesiasi dan filogeni. Keuntungan tersebut antara lain karena diwariskan melalui jalur ibu (*maternal line*), memiliki tingkat variabilitas yang tinggi, laju mutasi yang tinggi, kurang rekombinasi dan peluang pemulihan yang tinggi (Bubruzan *et al.*, 2007). Pada binatang, umumnya genom mitokondrial sangat kecil (15-20 kb)

yang mengandung 37 gen (Tabel 1), yang mengkode 13 subunit protein dari enzim oxidative phosphorylation, 2 rRNA dari ribosom mitokondrial, dan 22 tRNA yang penting untuk translasi protein yang dikode oleh mtDNA (Boore, 1999).

Tabel 1. Gen yang khas ditemukan pada genom mitokondrial binatang (Boore, 1999)

Protein yang dikode	Penanda bagi mtDNA binatang	Sinonim
Cytochrome oxidase subunit I, II, II	COI, COII, COIII	cox1, cox2, cox3
Cytochrome <i>b</i> apoenzyme	Cytb	Cob
NADH dehydrogenase subunit 1-6, 4L	NDI-6, 4L	nadl-6, 4L
ATP synthase subunit 6, 8	A6, A8 or ATP6, ATP8	atp6, atp8
Large ribosomal subunit RNA	lrRNA	Rnl
Small ribosomal subunit RNA	srRNA	Rns
18 transfer RNAs each specifying a single amino acid	Corresponding one-letter amino acid code	trnX
two transfer RNAs specifying leucine	Differentiated by codon recognized, L(CUN) and L(UUR)	Differentiated by subscript
two transfer RNAs specifying serine	Differentiated by codon recognized, S(AGN) and S(UCN)	Differentiated by subscript

Pada binatang, genom mitokondrial tersebut biasanya bulat dan menyandi sejumlah fungsi tertentu. Dari 13 protein daerah sandi (Gambar 8) yang ada, kesemuanya merupakan bagian *breathing system*, yaitu cytochrome *b*, 3 subunit dari cytochrome oxidase, subunit ATP-ase dan 7 subunit dari NADH dehydrogenase (Gray, 1989).



Gambar 8. Struktur genom mitokondria binatang (Gray, 1989).

Pada ordo Isoptera, mitokondrial DNA cytochrome oxidase subunit II (mtDNA COII) telah banyak digunakan dalam studi filogenetik molekuler. Studi filogenetik tidak hanya memfokuskan pada hubungan antara famili, seperti pada famili Rhinotermitidae (Austin *et al.*, 2004a), tetapi juga variasi genetik inter-spesifik dari genus tertentu, seperti dari genus *Reticulitermes* (Clément *et al.*, 2001; Austin *et al.*, 2002; Marini dan Mantovani, 2002) dan variasi genetik intra-spesifik dari genus tertentu, seperti *Coptotermes* (Jenkins *et al.*, 2002).

Penggunaan mtDNA COII pada genus *Coptotermes* telah diteliti oleh sejumlah peneliti. Studi filogeni hubungan antara spesies yang dilakukan oleh Lo *et al.* (2006) menunjukkan bahwa spesies *C. lacteus* Froggatt, *C. frenchi* Hill dan *C. michaelsoni* Silvestri masing-masing ditemukan membentuk kelompok monofiletik yang dekat, tetapi tidak pada *C. acinaciformis*. Populasi *C. acinaciformis* di bagian Utara Australia yang

membangun sarang gundukan ditemukan membentuk kelompok yang berbeda dengan populasi spesies yang sama yang berada di bagian Selatan yang bersarang di pohon; dua populasi lainnya yang di bagian Barat ditemukan divergen dari populasi lainnya. Satu spesies yang tidak teridentifikasi (*Coptotermes* sp.) dari Melbourne juga ditemukan divergen dari taksa lainnya. Beberapa spesies *Coptotermes* dari Australia memiliki kekerabatan hubungan yang lebih dekat ke spesies Asia daripada spesies Australia.

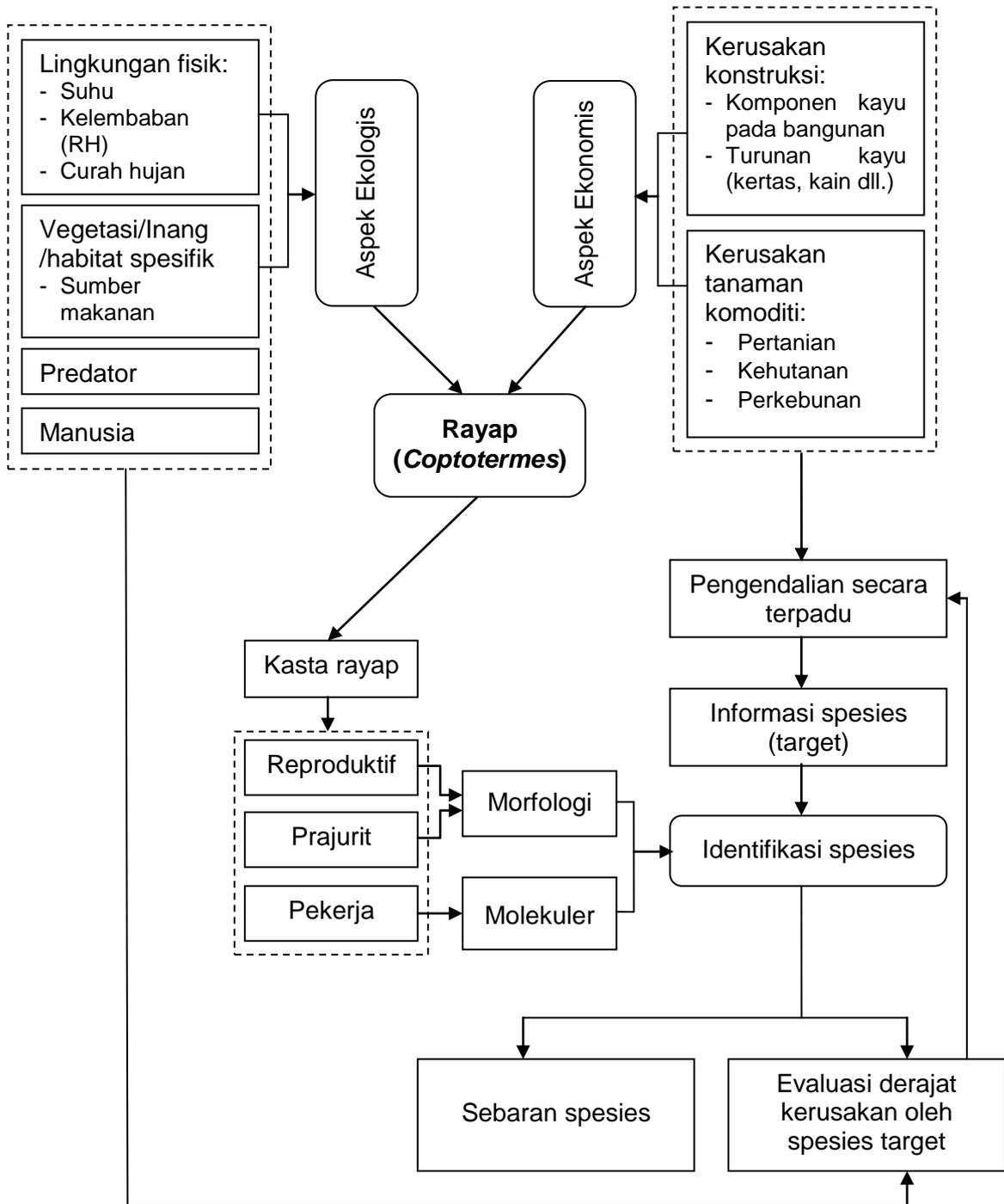
Penelitian hubungan filogenetik dari 11 rayap tanah *Coptotermes* dari Asia Timur [*C. cochlearus* Xia & He, *C. curvignathus*, *C. dimorphus* Xia & He, *C. formosanus*, *C. gestroi*, *C. kalshoveni* Kemner, *C. sepangensis* Krishna, dan *C. travians*] dan Australia [*C. acinaciformis*, *C. frenchi* Hill, dan *C. lacteus*] plus *C. guangzhouensis* Ping from GenBank dianalisis oleh Yeap *et al.* (2009) menggunakan urutan mtDNA, yaitu gen 12S, 16S dan COII. Hasil maximum parsimony dan maximum likelihood menunjukkan bahwa terdapat dua clade utama dengan 6 subclade, yaitu I (*C. acinaciformis*), II (*C. lacteus* dan *C. frenchi*), III (*C. curvignathus*), IV (*C. kalshoveni*, *C. sepangensis* dan *C. travians*), V (*C. gestroi*) dan VI (*C. formosanus*, *C. cochlearus*, *C. dimorphus* dan *C. guangzhouensis*). *C. cochlearus* dan *C. dimorphus* adalah kemungkinan sinonim junior dari *C. formosanus* dengan perbedaan nukleotida >1,0%.

Analisis filogenetik dari sekuens gen COII yang berasal dari 23 populasi *C. gestroi* memperlihatkan dua kelompok utama, yaitu (1)

populasi Cleveland (USA) dan 4 populasi Malaysia, dan (2) populasi Brazil, 4 populasi Malaysia, dan 1 populasi masing-masing dari Thailand, Puerto Rico, dan Key West USA (Martins *et al.*, 2010). Penelitian serupa juga dilakukan oleh Austin *et al.* (2006) terhadap 60 populasi *C. formosanus*. Hasil analisis sekuens DNA dari 640-bp mtDNA COII menunjukkan bahwa terdapat dua jalur berbeda penyebaran rayap ini ke daratan Amerika Serikat dan Hawaii, yaitu kelompok I yang terdiri atas clade sebagian besar populasi rayap Asia, sedangkan kelompok II disusun oleh populasi Asia dan southern U.S.

F. Konseptual Penelitian

Mengacu pada konsep-konsep dasar yang telah diuraikan sebelumnya, maka penelitian ini dirancang dengan kerangka konseptual sebagaimana disajikan pada Gambar 9.



Keterangan: - - - - : satu kesatuan
 → : hubungan langsung

Gambar 9. Kerangka konseptual penelitian