

**ANALISIS MORFOMETRIK MANDIBULA
PADA RAYAP KASTA PRAJURIT**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains S-1 Biologi



Diajukan oleh:

ALYA ALIFIA SYABANI

NIM : 2108016066

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

**ANALISIS MORFOMETRIK MANDIBULA
PADA RAYAP KASTA PRAJURIT**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains S-1 Biologi



Diajukan oleh:

ALYA ALIFIA SYABANI

NIM : 2108016066

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alya Alifia Syabani

NIM : 2108016066

Program Studi : Biologi

Menyatakan bahwa Skripsi yang berjudul:

ANALISIS MORFOMETRIK MANDIBULA PADA RAYAP KASTA PRAJURIT

Secara keseluruhan merupakan hasil penelitian/karya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 15 April 2025

Pembuat Pernyataan



Alya Alifia Syabani

NIM. 2108016066



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan Semarang
Telp.024-7601295 Fax.7615387

LEMBAR PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Analisis Morfometrik Mandibula Pada Rayap
Kasta Prajurit

Penulis : Alya Alifia Syabani

NIM : 2108016066

Program Studi : S1 Biologi

Telah diujikan dalam sidang tugas akhir oleh Dewan Penguji
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat
diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana
dalam ilmu Biologi.

Semarang, 21 April 2025

DEWAN PENGUJI

Penguji I

Galih Kholifatun Nisa', M.Sc.
NIP. 199006132019032018

Penguji II

Dr. Bramantyo Wikantyo, M.Agr.
NIP. 198710132015021001

Penguji III

Andang Syaifudin, M.Sc.
NIP. 198907192019031010

Penguji IV

Mirtaati Na'ima, M.Sc.
NIP. 198809302019032016

Pembimbing I

Galih Kholifatun Nisa', M.Sc.
NIP. 199006132019032018

Pembimbing II

Dr. Bramantyo Wikantyo, M.Agr.
NIP. 198710132015021001

NOTA DINAS

Semarang, 15 April 2025

Yth. Ketua Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Analisis Morfometrik Mandibula pada
Rayap Kasta Prajurit

Nama : Aiya Alifia Syabani

NIM : 2108016066

Program Studi : S1 Biologi

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamualaikum wr.wb.

Pembimbing

Galih Kholifatun Nisa', M.Sc.
NIP. 199006132019032018

NOTA DINAS

Semarang, 15 April 2025

Yth. Ketua Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Analisis Morfometrik Mandibula pada
Rayap Kasta Prajurit

Nama : Alya Alifia Syabani

NIM : 2108016066

Program Studi : S1 Biologi

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamualaikum wr.wb.

Pembimbing II



Dr. Bramantyo Wikantyo, M.Agr.

NIP. 198710132015021001

ABSTRAK

Morfologi mandibula pada rayap kasta prajurit merupakan aspek penting dalam memahami morfologi fungsional mandibula dan berfungsi sebagai alat pertahanan diri rayap. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi morfologi mandibula rayap kasta prajurit melalui pendekatan analisis linear morfometrik dan analisis geometrik morfometrik dengan *MorphoJ*. Perangkat lunak *MorphoJ* digunakan untuk melakukan analisis *Procrustes*, analisis komponen utama (PCA), dan analisis diskriminan (DFA) untuk memvisualisasikan variasi bentuk mandibula. Sampel mandibula diisolasi dari tiap genus rayap prajurit, diantaranya genus *Coptotermes*, *Odontotermes*, *Microtermes*, *Macrotermes* mayor dan minor, dan *Schedorhinotermes*. Hasil analisis linear menunjukkan adanya variasi ukuran mandibula antar genus rayap prajurit. Rata-rata panjang dan standar deviasi mandibula terendah dimiliki oleh genus *Microtermes* ($0,589 \pm 0,041$ mm). Kemudian rata-rata panjang dan standar deviasi mandibula tertinggi dimiliki oleh genus *Macrotermes* mayor ($1,595 \pm 0,061$ mm). Hasil analisis geometrik menunjukkan bahwa PC1 (62,944%) dan PC2 (22,507%) dengan total kumulatif kedua komponen mencapai 85,451%, berkontribusi dalam menjelaskan total varian data bentuk mandibula yang paling komprehensif. *Convidential ellips* genus *Coptotermes*, *Microtermes*, dan *Macrotermes* minor yang dianalisis menunjukkan bentuk mandibula mirip. Hasil analisis DFA menunjukkan bahwa data tidak terlalu signifikan karena jumlah data yang dianalisis tidak memenuhi syarat. Variasi perbedaan ukuran dan bentuk diantara genus berkaitan dengan kemampuan mandibula sebagai alat pertahanan diri dan pola hidup rayap di lingkungan.

Kata kunci: DFA, Geometrik Morfometrik, Kasta Prajurit, Linear Morfometrik, Mandibula, Morfometrik, MoprhoJ, PCA

ABSTRACT

The morphology of the mandible in soldier termites is an important aspect of understanding the functional morphology of the mandible and serves as a defense mechanism for termites. This study aims to analyze the morphological variation of soldier termite mandibles through linear morphometric analysis and geometric morphometric analysis using MorphoJ. The MorphoJ software was utilized to perform Procrustes analysis, principal component analysis (PCA), and discriminant function analysis (DFA) to visualize the shape variation of the mandibles. Mandibles samples were isolated from each genera of soldier termites, including the genera *Coptotermes*, *Odontotermes*, *Microtermes*, *Macrotermes* major and minor, and *Schedorhinotermes*. The results of the linear analysis indicated a variation in mandible size among the termite genera. The lowest mean value was found in the genus *Microtermes* (0.589 mm) with a standard deviation of (0.041 mm). Conversely, the highest mean value was observed in the genera *Macrotermes* major (1.595 mm) with the highest standard deviation (0.061 mm). The results of the geometric analysis showed that PC1 (62.944%) and PC2 (22,507%) contributed to a cumulative total 85.451%, explaining the total variance in mandible shape data most comprehensively. The convex hulls of the genera *Coptotermes*, *Microtermes*, and *Macrotermes* analyzed showed similar mandible shapes. The DFA analysis was not subjected to significance testing due to the insufficient number of data analyzed. The variation in size and shape among the genera is related to the mandible's ability to serve as a defense mechanism and the lifestyle patterns of termites in their environment.

Keywords: DFA, Geometric Morphometrics, Linear Morphometric, Mandible, Morphometric, MorphoJ, PCA, Soldier Caste

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT Yang Maha Esa karena atas rahmat dan nikmat-Nya penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Morfometrik Mandibula pada Rayap Kasta Prajurit”**. Tidak lupa shalawat serta salam senantiasa selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, semoga kita senantiasa mendapatkan syafaatnya di yaumul qiyamah kelak. Skripsi ini ditujukan sebagai bentuk tanggung jawab penulis sebagai mahasiswa Program (S1) Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang. Pada kesempatan ini dengan rasa hormat dan kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Nizar Ali, M.Ag., Rektor UIN Walisongo Semarang;
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag., Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang;
3. Dr. Dian Ayuning Tyas, M.Biotech., Ketua Program Studi Biologi UIN Walisongo Semarang yang telah menyetujui topik penelitian penulis;
4. Galih Kholifatun Nisa' M.Sc., dosen pembimbing I penulis yang senantiasa memberikan semangat, arahan, dan bimbingan dengan sabar dan tulus terkait riset dan penulisan dalam skripsi;

5. Dr. Bramantyo Wikantyo, M.Agr., dosen pembimbing II penulis yang senantiasa memberikan semangat, arahan, dan bimbingan dengan sabar dan tulus terkait riset dan penulisan dalam skripsi. Terima kasih atas ilmu dan pengalaman menarik yang dibagikan selama riset di BRIN Cibinong sehingga berhasil memotivasi penulis;
6. Andang Syaifudin, M.Sc. dan Mirtaati Na'ima, M.Sc., dosen penguji yang telah memberikan saran, masukan, dan koreksi untuk perbaikan penelitian;
7. Sanep dan Masripah, kedua orangtua penulis yang sangat berharga, selalu berjuang, dan berhasil mendidik penulis selama ini dan seterusnya. Terima kasih atas perjuangan dan sudah sabar menghadapi karakter penulis sebagai anak pertama;
8. Tasya, adik penulis, teman bermain di rumah yang gemar membuat suasana rumah menjadi ramai. Terima kasih sudah menjadi adik penulis yang baik;
9. Ahmad Febri Yansah, S.Si., kakak tingkat sekaligus asisten laboratorium dari semester awal yang selalu memberikan ilmu dan arahan penulis yang sangat berharga;
10. Viola Awaliyah P., Dinda Qanita N., Erlynda Vicky A., Narsita Sya'bandini, Lesta Tifa A., Prita Fitri M., dan

- Anniesa Uzzahro U.H., anggota 'Adhesive Label', sahabat penulis sekaligus keluarga yang menjadi tempat pulang dalam suka maupun duka serta memberikan dukungan dan kebahagiaan penulis;
11. Yuni, Sefi, Destian, Linda, Tata, Adzra, Nirma, Iwid, Tiyas, teman-teman penulis di perantauan yang telah menemani penulis selama di bangku perkuliahan;
 12. Teman-teman Biologi angkatan 21 dan teman-teman KKN kelompok 8 sekaligus Desa Gandon, terima kasih atas setiap momen yang berharga dan pembelajaran untuk penulis;
 13. Viddy Erlangga Thiskandri, teman riset rayap yang telah bekerja sama selama penyusunan proposal, sampling selama 1 bulan, dan riset di BRIN. Terima kasih atas kesabaran menghadapi mood penulis yang suka berubah-ubah;
 14. Bangtan Sonyeondan, Kim Namjoon, Kim Seokjin, Min Yoongi, Jung Hoseok, Park Jimin, Kim Taehyung, Jeon Jungkook, Army, dan pintu 'Magic Shop'. Terima kasih telah menjadi alasan penulis untuk tetap bertahan, melangkah, dan menemani penulis melalui karya musik yang memiliki makna yang sangat berharga. Dan terima kasih untuk diri sendiri yang telah bertahan sejauh ini, Alya Alifia Syabani.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iv
NOTA DINAS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian	6
BAB II LANDASAN PUSTAKA	9
A. Kajian Pustaka	9
1. Klasifikasi dan Pengenalan Rayap.....	9
2. Kasta Prajurit dan Mekanisme Pertahanan Diri.....	16
3. Mandibula Rayap Kasta Prajurit	20
4. Analisis Linear Morfometrik.....	22

5. Analisis Geometrik Morfometrik	23
B. Kajian Penelitian yang Relevan	25
C. Kerangka Berpikir	33
BAB III METODE PENELITIAN	34
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	34
B. Alat dan Bahan.....	36
1. Alat	36
2. Bahan.....	36
C. Metode Penelitian.....	36
1. Koleksi Sampel Rayap	36
2. Tahap Identifikasi	37
3. Tahap Isolasi Mandibula	38
4. Analisis Linear Morfometrik.....	39
5. Analisis Geometrik Morfometrik	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
A. Hasil Penelitian.....	44
1. Penampakan Bentuk Mandibula Rayap Kasta Prajurit dari Berbagai Genus	44
2. Analisis Linear Morfometrik terhadap Pengukuran Panjang Mandibula Rayap Kasta Prajurit.....	56
3. Analisis Geometrik Morfometrik terhadap Bentuk Mandibula Rayap Kasta Prajurit Menggunakan Perangkat Lunak MorphoJ.....	58
B. Pembahasan.....	74
1. Analisis Morfometrik Mandibula pada Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus.....	74

a.	Analisis Linear Morfometrik terhadap Pengukuran Panjang Mandibula Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus.....	74
b.	Komponen Analisis Geometrik terhadap Bentuk Mandibula Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus	75
c.	Keterkaitan Antara Habitat dan Bentuk Mandibula Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus	80
2.	Morfologi, Fungsi, dan Bentuk Mandibula pada Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus	83
a.	Keterkaitan Antara Morfologi, Fungsi, dan Bentuk Mandibula pada Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus	83
b.	Mekanisme Pertahanan Prajurit yang Berkaitan dengan Mandibula pada Rayap Kasta Prajurit.....	86
3.	Perbandingan Mandibula Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus dengan Semut.....	89
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		92
A.	SIMPULAN	92
B.	SARAN	93
DAFTAR PUSTAKA		94

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kajian penelitian yang relevan.....	25
Tabel 4.1	Pengukuran panjang mandibula rayap kasta prajurit dari tiap genus.....	57
Tabel 4.2	Nilai <i>eigenvalues</i> , persentase varians (% <i>Variance</i>), dan persentase kumulatif (<i>Cumulative %</i>) bentuk mandibula rayap kasta prajurit menggunakan <i>MorphoJ</i>	64
Tabel 4.3	Analisis DFA (<i>Discriminant Function Analysis</i>) terhadap perbandingan bentuk mandibula rayap prajurit tiap genus.....	66
Tabel 4.4	Hasil statistik terhadap analisis DFA (<i>Discriminant Function Analysis</i>) terhadap perbandingan bentuk mandibula pada rayap kasta prajurit dari tiap genus.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Morfologi rayap kasta prajurit.....	11
Gambar 2.2	Morfologi kasta prajurit dari beberapa genus: (a) <i>Coptotermes</i> , (b) <i>Odontotermes</i> , (c) <i>Microtermes</i> , (d) <i>Macrotermes</i> minor, (e) <i>Macrotermes</i> mayor, (f) <i>Schedorhinotermes</i>	17
Gambar 2.3	Mandibula rayap kasta prajurit dari beberapa genus: (a) <i>Coptotermes</i> , (b) <i>Odontotermes</i> , (c) <i>Microtermes</i> , (d) <i>Macrotermes</i> minor, (e) <i>Macrotermes</i> mayor, (f) <i>Schedorhinotermes</i>	20
Gambar 2.4	Bagian-bagian mandibula rayap kasta prajurit: (a) apikal, (b) basal, (c) gigi lateral, (d) anterior, (e) kondilus atau tonjolan bagian luar, (f) bagian dalam (<i>inner area</i>), (g) bagian luar (<i>outer area</i>).....	21
Gambar 2.5	Representasi bentuk mandibula rayap prajurit.....	22
Gambar 2.6	Perangkat lunak <i>MorphoJ</i>	23
Gambar 2.7	Diagram kerangka berpikir.....	33
Gambar 3.1	Peta lokasi pengambilan sampel rayap.....	35
Gambar 3.2	Ilustrasi penentuan <i>landmark</i> dan semi <i>landmark</i> pada mandibula rayap kasta prajurit: (a) garis semu; (b) <i>landmark</i> ; dan (c) semi <i>landmark</i>	40
Gambar 4.1	Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus <i>Coptotermes</i> dengan ukuran skala 100 μm	44
Gambar 4.2	Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus <i>Odontotermes</i> dengan ukuran skala 100 μm	45
Gambar 4.3	Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus <i>Microtermes</i> dengan ukuran skala 100 μm	46
Gambar 4.4	Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus <i>Macrotermes</i> minor dengan ukuran skala 100 μm	47

Gambar 4.5	Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus <i>Macrotermes</i> mayor dengan ukuran skala 100 μm	48
Gambar 4.6	Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus <i>Schedorhinotermes</i> dengan ukuran skala 100 μm	49
Gambar 4.7	Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus <i>Coptotermes</i> menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) dengan ukuran skala 200 μm	51
Gambar 4.8	Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus <i>Odontotermes</i> menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) dengan ukuran skala 200 μm	52
Gambar 4.9	Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus <i>Microtermes</i> menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) dengan ukuran skala 200 μm	53
Gambar 4.10	Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus <i>Macrotermes</i> minor menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) dengan ukuran skala 200 μm	53
Gambar 4.11	Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus <i>Macrotermes</i> mayor menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) dengan ukuran skala 200 μm	54
Gambar 4.12	Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus <i>Schedorhinotermes</i> menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) dengan ukuran skala 200 μm	55
Gambar 4.13	Rata-rata <i>landmark</i> hasil dari <i>Procrustes</i> terhadap variasi bentuk mandibula rayap kasta prajurit dari tiap genus	59

Gambar 4.14	<i>Principal Component Analysis</i> (PCA) terhadap bentuk mandibula rayap kasta prajurit yang dianalisis secara geometrik morfometrik menggunakan perangkat lunak <i>MorphoJ</i>	60
Gambar 4.15	Persentase varians pada bentuk mandibula rayap kasta prajurit menggunakan perangkat lunak <i>MorphoJ</i>	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Dokumentasi Kegiatan Penelitian.....	105
Lampiran 2	Tabulasi Data Pengukuran.....	106
Lampiran 3	Cek Turnitin.....	107
Lampiran 4	Daftar Riwayat Hidup.....	108

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Rayap tersebar luas di berbagai lingkungan, seperti di hutan, ladang pertanian, daerah tropis dan subtropis, dataran tinggi dan dataran rendah, serta perkotaan yang padat penduduk (Manoppo *et al.*, 2024). Umumnya rayap memiliki manfaat yang krusial dalam menyeimbangkan ekosistem lingkungan, terutama di daerah tropis. Tidak hanya kayu, serasah dan vegetasi yang telah mati juga di konsumsi oleh rayap (Arif *et al.*, 2010) dan diolah untuk menutrisi serta memperbaiki struktur tanah. Sebanyak 3.106 spesies rayap hidup dan fosil telah teridentifikasi yang terbagi menjadi 330 genus dan 12 famili (Krishna *et al.*, 2013). Dari total tersebut, sekitar 10% ditemukan di Indonesia dan 5% merupakan hama perusak yang merugikan di bidang perkebunan dan tanaman pangan (Arif *et al.*, 2019).

Rayap memiliki habitat yang terbuka dan lebih banyak beraktivitas di sekitar sarang. Dari jutaan individu rayap, sebagian besar tidak memiliki sistem pertahanan diri. Hal ini mengakibatkan rayap menjadi mangsa yang relatif mudah bagi predator. Predator utama rayap adalah semut, burung, katak dan mamalia

kecil juga menargetkan rayap sebagai makanan (Scholtz *et al.*, 2008). Oleh karena itu, sistem pertahanan yang efektif diperlukan oleh rayap agar dapat bertahan hidup dan menjadi garda terdepan untuk menjaga koloni dan sarang.

Kasta prajurit merupakan kasta yang bertugas menjaga sistem pertahanan koloni dan sarang. Hal ini didukung oleh bentuk tubuh kasta prajurit yang lebih besar dibanding kasta lain, seperti di bagian rahang bawah (mandibula), kepala dan tubuh yang lebih keras, tebal, dan besar. Untuk mendukung tugas kasta prajurit, tubuh kasta prajurit dilengkapi berbagai senjata dan strategi pertahanan yang khas. Secara mekanik, kasta prajurit memiliki mandibula yang lebih besar dan kuat, berguna untuk mencengkeram bahkan menusuk dan menggigit predator (Prestwitch, 1984). Sedangkan secara kimiawi, rayap dapat menyemburkan cairan kimia beracun yang berada di dalam perut rayap (Sands, 1982). Kemudian Deligne *et al.* (1981) juga mengkategorikan empat senjata fisik yang dimiliki oleh kasta prajurit, yaitu mandibula, frakmotik, saliva, dan frontal serta menggunakan zat kimia berupa feromon yang berasal dari tubuh rayap.

Morfologi tubuh rayap kasta prajurit terspesialisasi dan identik, bagian tubuh yang sering dijadikan parameter identifikasi terdiri dari pronotum, mandibula, labrum, dan fontanel. Penelitian Haneda & Firmansyah (2012), setiap jenis rayap kasta prajurit memiliki variasi ukuran dan bentuk mandibula yang mudah untuk diidentifikasi, meskipun hanya ada sedikit perbedaan. Perbedaan terjadi karena adanya morfogenesis pada mandibula. Peristiwa tersebut menyebabkan kasta prajurit terbagi menjadi dua kelompok, yaitu prajurit mayor (berukuran besar) dan prajurit minor (berukuran kecil). Keduanya memiliki bentuk mandibula yang berbeda karena terjadinya modifikasi. Mandibula kasta prajurit memiliki bentuk memanjang karena mengalami penebalan atau pengerasan (sklerotisasi) (Koshikawa *et al.*, 2002 & Weesner, 1969). Peristiwa tersebut menyebabkan pembesaran pada ukuran mandibula. Hal tersebut membantu kasta prajurit dalam melindungi sarang dan kasta lain, seperti melindungi kasta pekerja dari serangan predator saat sedang mencari makan (Deligne *et al.*, 1981).

Dalam dunia entomologi, pengamatan morfologi berperan penting dalam sejarah evolusi dan taksonomi

suatu organisme. Setiap jenis serangga memiliki bentuk morfologi yang berbeda. Ciri-ciri yang dapat dilihat pada rayap yaitu berupa ukuran, bentuk, atau jumlah objek fisik tertentu. Salah satu prosedur yang dilakukan dalam pengamatan morfologi, yaitu analisis morfometrik. Analisis morfometrik merupakan analisis yang bertujuan untuk mendeskripsikan variasi bentuk dan ukuran tubuh yang digunakan dalam identifikasi, klasifikasi dan taksonomi rayap (Ashraf *et al.*, 2022). Pada penelitian ini fokus untuk menganalisis morfometrik mandibula pada rayap kasta prajurit dengan menggunakan analisis linear morfometrik dan analisis geometrik morfometrik. Analisis geometrik morfometrik menggunakan teknik PCA (*Principal Component Analysis*), untuk mengukur bagian-bagian tubuh seperti mengukur bentuk mandibula sehingga, data multivariat dapat dianalisis (Koshikawa *et al.*, 2002).

Penelitian terdahulu telah dilakukan oleh Wikantyoso *et al.* (2021) terkait dengan karakteristik morfologi rayap kasta prajurit dari spesies *Coptotermes* sp. pada bentuk kapsul kepala menggunakan analisis morfometrik dan analisis genetik. Penelitian dengan analisis morfometrik mandibula pada rayap kasta prajurit di berbagai genus belum pernah dilakukan. Oleh

karena itu, penelitian ini penting dilakukan guna menghindari subjektifitas peneliti dalam melihat bentuk mandibula dan terdeskripsikan secara kuantitatif. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menunjang pengetahuan tentang fungsi mandibula terhadap sistem pertahanan diri rayap, memiliki potensi dalam menemukan spesies baru (*novel species*), serta mengevaluasi adaptasi rayap terhadap perubahan bentuk mandibula di bidang evolusi dan taksonomi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana analisis morfometrik mandibula pada rayap kasta prajurit?
2. Bagaimana morfologi, fungsi, dan bentuk mandibula pada rayap kasta prajurit?
3. Bagaimana perbandingan morfologi mandibula rayap kasta prajurit dengan mandibula serangga sosial lainnya?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis variasi morfometrik mandibula pada rayap kasta prajurit.
2. Menjelaskan morfologi, fungsi, dan bentuk mandibula rayap kasta prajurit.
3. Membandingkan morfologi mandibula rayap kasta prajurit dengan mandibula serangga sosial lainnya.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil dengan manfaat untuk beberapa pihak, diantaranya:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini dapat menjadi sumber ilmu pengetahuan taksonomi, referensi tambahan, dan pengembangan wawasan morfometrik mandibula dari berbagai spesies rayap kasta prajurit.

2. Manfaat Praktis

a. Bagi Penulis

1. Penelitian ini dapat digunakan sebagai tambahan wawasan dan pengetahuan mengenai analisis morfometrik mandibula pada rayap kasta prajurit
2. Penelitian ini dapat digunakan sebagai sumber referensi tambahan penelitian lebih lanjut terutama di bidang biologi, zoologi, genetika, evolusi, dan ilmu terapan lain seperti biomimikri.

b. Bagi Instansi

1. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi penelitian mengenai analisis morfometrik mandibula rayap kasta prajurit
2. Berkontribusi memberikan informasi dan pengetahuan mengenai analisis morfometrik mandibula rayap kasta prajurit

3. Menambah referensi buku dan kajian kepastakaan sebagai sumber pembelajaran.

c. Bagi Masyarakat

1. Penelitian ini dapat digunakan sebagai wawasan untuk masyarakat mengenai analisis morfometrik mandibula rayap kasta prajurit
2. Dapat digunakan sebagai dasar pengembangan struktur yang terinspirasi dari morfologi dan anatomi mandibula rayap kasta prajurit.

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

A. Kajian Pustaka

1. Klasifikasi dan Pengenalan Rayap

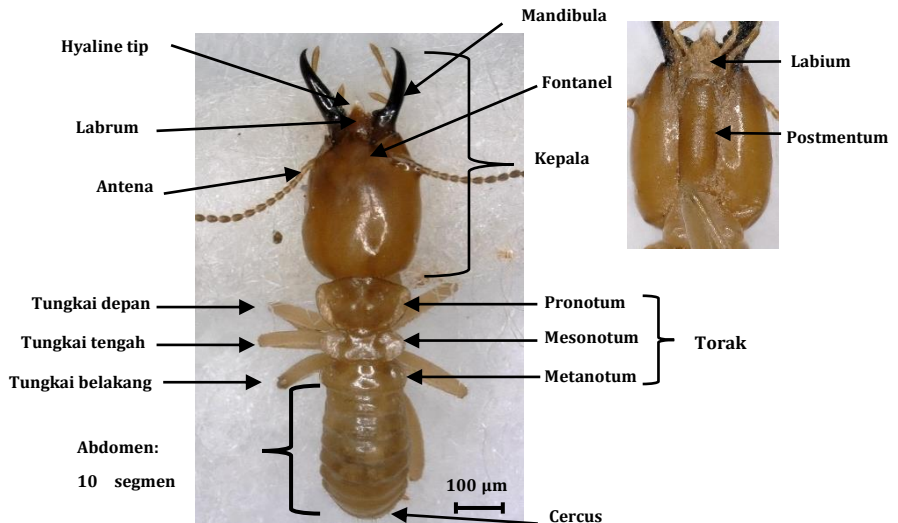
Rayap adalah anggota ordo Blattodea, sebelumnya termasuk ke dalam ordo Isoptera. Klasifikasi dari rayap adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Arthropoda
Kelas	: Insecta
Ordo	: Blattodea
Infraordo	: Isoptera (ITIS, 2025)

Menurut ITIS (2025), rayap terbagi menjadi 7 famili, diantaranya famili Blattidae, Cryptocercidae, Hodotermitidae, Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Termitidae, dan Termopsidae. Rayap juga terbagi menjadi dua kelompok, yaitu rayap tingkat tinggi dan rayap tingkat rendah. Rayap tingkat tinggi terdiri dari satu famili, yaitu Termitidae, sedangkan rayap tingkat rendah terdiri dari beberapa famili, yaitu Hodotermitidae, Kalotermitidae, Mastotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae, dan Termopsidae (Krishna, 2013). Ditemukan sebanyak 14 subfamili

masuk ke dalam rayap tingkat tinggi dan rayap tingkat rendah (Abe *et al.*, 2000).

Secara umum tubuh rayap berwarna putih, coklat, atau hitam (Paul *et al.*, 2018). Morfologi rayap terdiri dari tiga bagian anggota tubuh diantaranya kepala, torak, dan abdomen (Weesner, 1969). Sepasang antena moniliform, *hyaline tip*, (labrum), (labium), sepasang mandibula, dan sepasang maksila yang terdapat di bagian kepala. Pada bagian torak terbagi menjadi tiga bagian, yaitu pronotum, mesonotum, dan metanotum, yang setiap bagian terdapat sepasang tungkai (tungkai depan, tungkai tengah, dan tungkai belakang). Pada bagian abdomen terdapat 10 segmen dan segmen bagian akhir terdapat cercus (Roonwal, 1969 & Weesner, 1969).



Gambar 2.1 Morfologi rayap kasta prajurit (Dokumentasi penelitian, 2025)

Rayap dapat disebut sebagai semut putih dengan sinonim lainnya seperti *Termitida*, *Termitina*, dan *Socialia*, mencakup ke dalam anggota kelompok *orthopteroid* yang dijumpai dengan diversitas yang lebih besar (Harish, 2020). Rayap atau anai-anai hidup berkoloni yang terdiri dari beberapa ratus sampai beberapa juta individu (Saikia *et al.*, 2024) yang terbentuk dari beberapa kasta, antara lain kasta reproduktif, prajurit, dan pekerja.

Rayap bersifat menguntungkan di lingkungan karena dapat meningkatkan struktur dan kesuburan tanah, bertindak sebagai dekomposer, terutama kayu,

meskipun rayap juga memakan bahan organik lainnya, seperti sampah tanaman dan rumput (Prastyaningasih *et al.*, 2020 & Pie *et al.*, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa rayap di lingkungan sangat penting karena berkontribusi dalam menjaga ekosistem. Rayap yang bersifat menguntungkan dalam penelitian Muin *et al.* (2019), spesies *Schedorhinotermes* spp. menghasilkan produk biogenik yang mengandung nilai pH dan kadar C-organik lebih unggul dibandingkan tanah sekitarnya. Selain itu, struktur gundukan sarang yang dibangun oleh rayap *Odontotermes obesus* memiliki sirkulasi yang baik sehingga, banyak arsitektur yang meniru pembangunan dengan model sarang rayap (Zachariah *et al.*, 2020).

Rayap juga dapat bersifat merugikan, khususnya di daerah perkotaan. Terdapat 200 spesies rayap yang ditemukan di Indonesia dari sabang hingga merauke, sekitar 20 dari spesies tersebut dinyatakan sebagai hama (Cancello, 2014). Bangunan dan infrastruktur yang dirusak oleh rayap disebabkan oleh aktivitas manusia yang mengambil alih fungsi hutan sehingga, rayap bertransmigrasi untuk menemukan habitat yang baru (Lee & Park, 2023). Keberadaan rayap di lingkungan dapat menimbulkan kerusakan pertanian

dan struktur kayu (Paul *et al.*, 2018) serta barang dengan bahan yang terbuat dari selulosa, seperti pakaian, buku, dan perabotan (Subekti *et al.*, 2018). Kerusakan yang ditimbulkan dapat berdampak di bidang ekonomi. Beberapa spesies rayap merugikan yang ditemukan di Indonesia adalah jenis rayap tanah, antara lain *Coptotermes curvignathus* Holmgren, *Macrotermes gilvus* Hagen, dan *Schedorhinotermes javanicus* Kemmer, sedangkan spesies rayap kayu kering, yaitu *Cryptotermes cynocephalus* Light (Aflah *et al.*, 2021).

Habitat yang ideal untuk rayap terletak pada daerah yang beriklim tropis, seperti di Indonesia. Karakteristik iklim tropis, yaitu hangat dan lembab, tanah yang kaya unsur hara, dan tanaman kayu yang heterogen (Davies *et al.*, 2015 & Rahman *et al.*, 2022). Selain itu, rayap juga dapat hidup di lingkungan yang beriklim subtropis. Rayap sangat cocok berkembang di habitat dengan kisaran suhu optimal antara 15-38°C untuk mempengaruhi aktivitas rayap dan kisaran kelembaban optimal adalah 95-98% (Arif *et al.*, 2019) untuk pertumbuhan dan perkembangan rayap. Menurut Subekti *et al.* (2019), rayap juga memiliki pH optimal antara 6-7, khusus famili Termitidae dan

Rhinotermitidae cukup toleransi pada kondisi asam dan perubahan asam dan basa yang diakibatkan dari aktivitas rayap tersebut (Li *et al.*, 2017).

Rayap memiliki metamorfosis hemimetabolous, yaitu metamorfosis tidak sempurna (Inward *et al.*, 2007). Pada musim hujan tiba, suhu dan kelembapan menjadi lebih tinggi yang menyebabkan kasta reproduksi dewasa (laron) memilih keluar dan terbang dari sarangnya mencari sumber cahaya dan mengugurkan sayapnya untuk mencari pasangannya (Martius *et al.*, 1996). Siklus perkembangan rayap terdiri dari empat siklus antara lain, fase telur, fase larva, fase nimfa, dan fase dewasa atau imago. Pertama, pada fase telur, rayap betina akan mengeluarkan 4-15 telur. Ciri-ciri telur tersebut adalah berbentuk silindris, ujung telur membulat dan berwarna keputihan, serta panjang telur bervariasi. Telur akan menetas dan mulai memasuki fase nimfa, pada fase inilah terjadi penentuan kasta rayap terbentuk yang sebelumnya terjadi pergantian kulit sebanyak 8 kali (Eggleton, 2010). Rayap yang menjadi kasta reproduktif terbagi menjadi dua, yaitu raja dan ratu yang nantinya akan meneruskan keturunan rayap selanjutnya.

Seluruh ciptaan Allah swt termasuk hewan hidup dalam aturan dan kendali-Nya. Menurut Arif *et al.* (2020), rayap dapat disebut juga sebagai serangga yang ‘*silent destroyer*’, karena rayap dapat merusak dan menggerogoti perabotan di sekitar rumah, bangunan-bangunan, terutama yang terbuat dari kayu secara diam-diam.

Dalam al-Qur’an, rayap dapat menunjukkan tentang keberadaan kematian Nabi Sulaiman, seperti dalam firman-Nya:

تَأْكُلُ الْأَرْضُ دَابَّةً إِلَّا مَوْتَهُ عَلَى دَلَّهِمْ مَا الْمَوْتُ عَلَيْهِ قَضَيْنَا فَلَمَّا
فِي لِبْنُوا مَا الْغَيْبَ يَعْلَمُونَ كَانُوا لَوْ أَنَّ الْجِنَّ تَبَيَّنَتْ خَرَّ فَلَمَّا مَنَسَاتُهُ
الْمُهَيْنِ الْعَذَابِ

Artinya: “Maka tatkala kami telah menetapkan kematian Sulaiman, tidak ada yang menunjukkan kepada mereka kematiannya itu kecuali rayap yang memakan tongkatnya. Maka tatkala iya telah tersungkur, tahulah jin itu bahwa kalau sekiranya mereka mengetahui yang ghaib tentulah mereka tidak akan tetap dalam siksa yang menghinakan” (Q.S. Saba’: 14) (Al-Qur’an dan Terjemahannya, Kemenag RI, 1992).

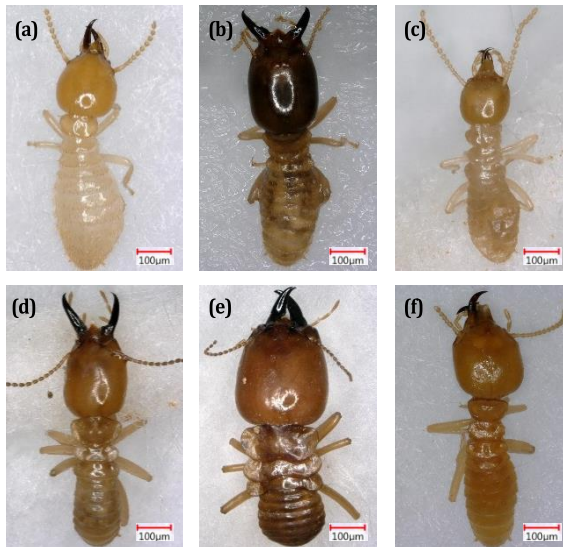
Dalam kitab *Tafsir Ibnu Katsir* dijelaskan bahwa Ibnu Abbas radhiallahu ‘anhu, Mujahid, Al-Hasan dan Qatadah telah disebutkan bahwa Nabi Sulaiman ketika meninggal tidak diketahui oleh jin dari perkara yang gaib karena dalam waktu yang cukup lama bertopang

dengan tongkatnya sehingga berdiri tegak kurang lebih satu tahun. Jin baru mengetahui kematian Nabi Sulaiman ketika tongkatnya dimakan oleh rayap dan rapuh sehingga jasad Nabi Sulaiman jatuh (Ibn Katsir, 2004).

2. Kasta Prajurit dan Mekanisme Pertahanan Diri

Rayap kasta prajurit umumnya memiliki ciri-ciri, yaitu bentuk kepala memanjang dan menyempit di bagian depan serta mandibula berukuran besar dengan struktur yang sederhana, yaitu tersusun dari satu gigi marginal saja (Triplehorn *et al.*, 2005). Deskripsi ukuran morfologi rayap juga diungkapkan oleh Thompson & Syaukani (2011), bahwa panjang kepala dengan mandibula berkisar antara 4,5-5,42 mm, panjang kepala tanpa mandibula 2,20-2,75 mm, lebar kepala 2,75-3,15 mm, antena terdiri dari 17 ruas dan bentuk mandibula proporsional yang terdiri dari satu gigi marginal. Rafli *et al.* (2021) juga mendeskripsikan ciri fisik kasta prajurit, yaitu kepala berbentuk oval lebar dan memiliki mandibula serta pronotum. Kasta prajurit memiliki karakter morfologi yang di desain khusus untuk menjaga individu dan mempertahankan koloni rayap, seperti kepala berukuran besar dan

mandibula yang dirancang kuat serta tahan terhadap serangan predator (Eggleton, 2010).



Gambar 2. 2 Morfologi kasta prajurit dari beberapa genus: (a) *Coptotermes*, (b) *Odontotermes*, (c) *Microtermes*, (d) *Macrotermes minor*, (e) *Macrotermes mayor*, (f) *Schedorhinotermes* (Dokumentasi penelitian, 2025)

Kasta prajurit memiliki perbedaan fisik tubuh yang paling terlihat dibanding dengan kasta lain. Perbedaan fisik tidak hanya antar spesies, akan tetapi dapat terjadi pada spesies yang sama. Perbedaan fisik tersebut yang paling terlihat terdapat di bagian kepala, seperti labrum, postmentum, dan mandibula. Dikarenakan setiap individu kasta prajurit memiliki strategi pertahanan yang berbeda dan beragam, seperti

bertarung dengan mandibula untuk menggigit, mengeluarkan cairan kimia di tubuhnya, bahkan mengisolasi lubang sarang dari predator dengan tubuhnya (Eggleton, 2010). Beberapa spesies kasta prajurit yang memiliki sistem pertahanan kimia dari tubuhnya, dikenal dengan istilah *autothysis*. *Autothysis* merupakan salah satu sistem pertahanan diri pada rayap dengan cara merobek dinding kelenjar abdomen, yang mana mengandung bahan kimia yang cukup lengket dan beracun saat bersinggungan langsung dengan predator (Sands, 1982).

Kasta prajurit juga memiliki beberapa strategi khusus dalam pertahanan diri (Eggleton, 2010), diantaranya sebagai berikut:

- a. Pertahanan titik kuat, setiap rayap berkumpul membentuk benteng pertahanan diri yang kuat dan aman untuk memblokir pintu masuk predator. Dapat dikatakan hal tersebut merupakan strategi pertahanan rayap paling awal dan dilakukan jika populasi rayap di koloni tersebut sedikit.
- b. Serangan balik, kasta prajurit akan keluar dari sarang untuk melakukan penyerangan balik agar meminimalisir kerusakan dan serangan dari

predator. Biasanya dilakukan jika populasi rayap dalam jumlah yang banyak.

- c. Pertahanan labirin, bentuk sarang seperti labirin dapat membingungkan predator dalam menemukan keberadaan rayap.

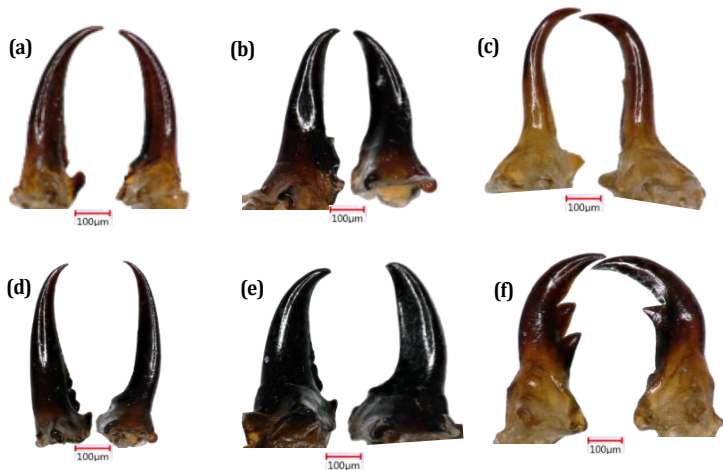
Prestwich (1984) juga menjelaskan bahwa terdapat beberapa mekanisme pertahanan yang dilakukan oleh rayap kasta prajurit, diantaranya:

- a. Frakmosis, rayap kasta prajurit akan menggunakan kepalanya agar dapat menutup lubang masuk sarang sehingga dapat menghambat jalan masuknya predator.
- b. Mandibula sebagai alat pertahanan diri utama, struktur mandibula yang kuat, panjang dan tajam dapat digunakan untuk mengiris, menusuk, dan menghancurkan predator dengan gerakan cepat saat merasa terancam. Selain itu, mandibula dapat menjepit predator secara simetris, yaitu menggunakan kedua sisi mandibula maupun secara asimetris, yaitu hanya menggunakan satu mandibula.
- c. Kemampuan menembak lem, rayap kasta prajurit memiliki organ khusus yang dikenal sebagai nasus. Organ ini berfungsi untuk memproduksi dan

menembak zat lengket ke arah predator dengan gerakan cepat sehingga predator terjebak dalam zat lengket tersebut hingga mati.

- d. Kemampuan kuas oles, labrum (bibir atas) rayap kasta prajurit mirip seperti kuas yang mengoleskan zat beracun ke tubuh predator.

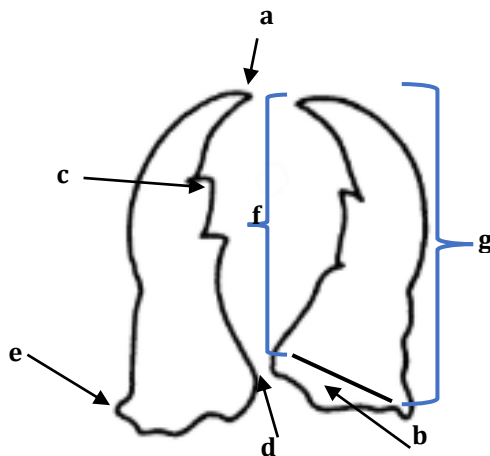
3. Mandibula Rayap Kasta Prajurit



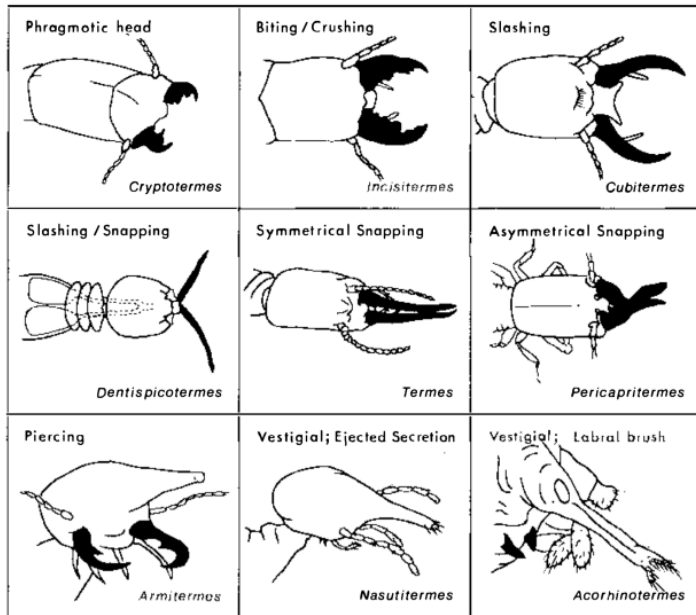
Gambar 2. 3 Mandibula rayap kasta prajurit dari beberapa genus: (a) *Coptotermes*, (b) *Odontotermes*, (c) *Microtermes*, (d) *Macrotermes minor*, (e) *Macrotermes mayor*, (f) *Schedorhinotermes* (Dokumentasi penelitian, 2025)

Mandibula rayap kasta prajurit berukuran panjang, besar, dan struktur yang kuat. Biasanya digunakan untuk memotong atau mengoyak, misalnya bertindak seperti gunting untuk memotong atau merobek tubuh predator (Borrer *et al.*, 1996). Menurut

Yuhara *et al.* (2014), menyatakan bahwa bentuk mandibula yang khas dan beragam dapat dijadikan informasi untuk identifikasi spesies rayap. Pernyataan tersebut di dukung oleh Haneda & Firmansyah (2012), bahwa selain ciri mandibula yang khas untuk identifikasi spesies, morfologi kepala juga ikut berkontribusi sebagai identitas suatu rayap. Tidak hanya menjadi identitas rayap, akan tetapi pada kasta prajurit dapat membantu dalam menjalankan strategi pertahanan diri rayap. Demikian struktur mandibula dibuat sedemikian rupa agar dapat dimanfaatkan dengan semestinya dan membedakan antar spesies .



Gambar 2. 4 Bagian-bagian mandibula rayap kasta prajurit: (a) apikal, (b) basal, (c) gigi lateral, (d) anterior, (e) kondilus atau tonjolan bagian luar, (f) bagian dalam (*inner area*), (g) bagian luar (*outer area*) (Roonwal & Sangal, 1957)



Gambar 2. 5 Representasi bentuk mandibula rayap prajurit
(Prestwitch, 1984)

4. Analisis Linear Morfometrik

Analisis linear morfometrik adalah metode pengukuran kuantitatif sederhana bagian tubuh serangga untuk mengukur jarak antara dua titik homolog atau *landmark* dari satu set *landmark* tertentu (Parés *et al.*, 2020). Pengukuran dilakukan dengan mengukur jarak antara titik-titik *landmark* yang telah ditentukan. Analisis ini lebih difokuskan pada pengukuran panjang, lebar, tinggi, dan perbandingan

antar dimensi tersebut. Keunggulan dari analisis ini lebih mudah dilakukan dan tidak memerlukan perangkat lunak khusus, sedangkan kelemahan dari analisis ini tidak menggambarkan bentuk secara keseluruhan dan kurang akurat dalam membandingkan variasi ukuran tubuh makhluk hidup.

5. Analisis Geometrik Morfometrik



Gambar 2. 6 Perangkat lunak MorphoJ (Klingenberg, 2011)

Analisis geometrik morfometrik atau analisis bentuk adalah metode untuk menganalisis variasi bentuk tubuh makhluk hidup menggunakan *landmark* dan *semi-landmark* pada permukaan objek tersebut (Polly *et al.*, 2016). *Landmark* adalah titik penanda sudut, ujung, pangkal maupun bagian yang mudah diamati untuk mewakili bentuk tubuh makhluk hidup (Wikantyoso *et al.*, 2024). Sedangkan *semi-landmark* adalah titik pendukung *landmark* yang menandai dan menentukan bentuk dari garis lengkung atau pada bagian yang sulit diamati. Klingenberg (2011)

memaparkan bahwa perangkat lunak *MorphoJ* dapat digunakan untuk analisis geometrik morfometrik yang sebelumnya didigitalisasi oleh perangkat lunak pendukung, yaitu *tpsUtil* dan *tpsDig*. Keunggulan dari analisis ini adalah dapat membuat bentuk keseluruhan objek tubuh makhluk hidup, sedangkan kelemahan dari analisis ini adalah lebih rumit dan perlu tingkat akurasi dan presisi yang lebih.

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Tabel 2. 1 Kajian penelitian yang relevan

No.	Judul/Penulis /Tahun	Metode	Hasil	Gap Penelitian
1.	Diversity of Termites with Reference to their Morphometrics in Dakshin Kamrup College Campus, Mirza, Kamrup, Assam (Saikia <i>et al.</i> , 2024)	Dikumpulkan dari berbagai lokasi di kampus D.K. College, identifikasi morfologi kasta prajurit dan diukur morfometrik menggunakan mikrometer panggung. Analisis data menggunakan metode kuantitatif deskriptif	Ditemukan spesies <i>Odontotermus obesus</i> dan <i>Odontotermus parvidens</i> yang membuktikan adanya perbedaan morfologi, yaitu struktur mandibula, ukuran tubuh dan warna.	Penelitian ini fokus pada morfometrik mandibula pada rayap kasta prajurit. Objek variabel yang dianalisis berbeda.
2.	Morphometrics, Distribution, and DNA Barcoding: An Integrative Identification Approach to the	Penelitian dilakukan di tiga lokasi berbeda dan pengambilan sampel dilakukan dengan <i>random sampling</i> . Identifikasi kasta prajurit	Diperoleh kunci identifikasi dan peta distribusi pada genus <i>Odontotermes</i> .	Penelitian ini berfokus morfometrik, distribusi dan analisis genetik pada rayap genus

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Judul/Penulis /Tahun	Metode	Hasil	Gap Penelitian
	Genus <i>Odontotermes</i> (Termitidae: Blattodea) of Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan (Zaman <i>et al.</i> , 2022)	dilakukan secara morfometrik dengan mikroskop binokuler. Dilakukan juga analisis genetik dengan metode Neighbour-Joining dan Maximum Likelihood.		<i>Odontotermes</i> di ketiga lokasi berbeda, serta belum melakukan analisis geometrik morfometrik.
3.	Morphometric Analysis of Soldier Caste of <i>Odontotermes obesus</i> (Rambur) and <i>Microtermes obesi</i> (Holmgren) (Blattodea: Termitidae; Macrotermitinae) from Three Localities of Potohar Region, Pakistan (Ashraf <i>et al.</i> , 2022).	Penelitian ini menggunakan analisis morfometrik kombinasi (linear dan geometrik) pada rayap kasta prajurit <i>C. obesus</i> dan <i>M. obesi</i> dari tiga lokasi berbeda. Data dianalisis menggunakan analisis deskriptif kuantitatif dan statistik.	Terdapat sedikit variasi morfologi seperti segmen antena (<i>pedicle, scape</i>) dan kaki (<i>trochanter, tibia</i>) pada rayap kasta prajurit yang disebabkan sebagai bentuk adaptasi lingkungan.	Perbedaan genus dan analisis morfometrik. Objek yang digunakan, yaitu kasta prajurit dari berbagai genus dan analisis morfometrik yang digunakan, yaitu analisis linear morfometrik dan analisis geometrik morfometrik.

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Judul/Penulis /Tahun	Metode	Hasil	Gap Penelitian
4.	Morphometric Analysis of <i>Coptotermes</i> spp. Soldier Caste (Blattodea: Rhinotermitidae) in Indonesia and Evidence of <i>Coptotermes gestroi</i> Extreme Head-Capsule Shapes (Wikantyoso <i>et al.</i> , 2021).	Rayap dikumpulkan dari sembilan lokasi di Indonesia. Dilakukan analisis variasi morfologi rayap prajurit dengan kombinasi morfometrik linear dan geometrik, serta analisis filogenetik. Analisis data dilakukan dengan analisis DFA (<i>Discriminant Functional Analysis</i>) dan PCA (<i>Principal Component Analysis</i>).	Adanya variasi bentuk kepala rayap kasta prajurit <i>Coptotermes</i> spp., yang paling terlihat pada spesies <i>C. gestroi</i> dari berbagai lokasi. Bagian posterior dari kapsul kepala menjadi lebih besar ke arah lateral secara bertahap dengan urutan <i>C. gestroi</i> , <i>C. sepangensis</i> , dan <i>C. curvignathus</i> .	Perbedaan genus, objek, dan metode. Subjek yang digunakan, yaitu kasta prajurit dari berbagai genus, objek yang digunakan, yaitu mandibula rayap, serta metode yang digunakan, yaitu <i>stakes baiting technique</i> .
5.	Morphometric Analysis of <i>Nasutitermes</i> (Termitidae: Nasutitermitinae) from Sarawak,	Rayap nasute (<i>Nasutitermes</i>) dikumpulkan dari tiga lokasi berbeda dengan metode <i>random sampling</i> dan protokol standar	Spesies <i>N. negularis</i> dan <i>N. longinasus</i> memiliki tingkat similaritas lebih tinggi dibandingkan dengan empat spesies lainnya,	Perbedaan genus, objek, dan analisis morfometrik. Genus yang digunakan, yaitu kasta prajurit dari berbagai genus,

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Judul/Penulis /Tahun	Metode	Hasil	Gap Penelitian
	Malaysia Borneo (Ismail <i>et al.</i> , 2020)	dengan modifikasi dari <i>transect sampling</i> . Pengukuran dilakukan menggunakan perangkat lunak <i>Motic Image Plus</i> 2.0. dan melakukan analisis filogenetik.	yaitu <i>N. havilandi</i> , <i>N. matangensis</i> , <i>N. matangensiformis</i> , dan <i>N. fuscipennis</i> . Berdasarkan pengukuran morfometrik (bentuk kepala, rostrum, pronotum, dan postmentum).	objek yang diteliti, yaitu morfometrik mandibula dengan melakukan analisis linear morfometrik dan analisis geometrik morfometrik.
6.	Survey and Morphological Identification of Termites (Insecta: Isoptera) in Teaching Forest of Hasanuddin University, Indonesia (Arif <i>et al.</i> , 2019)	Penelitian ini menggunakan metode <i>transect sampling</i> yang terstandarisasi pada keempat lokasi yang berbeda. Analisis data menggunakan analisis kuantitatif deskriptif	Sembilan spesies yang ditemukan adalah <i>Odontotermes</i> sp.1, <i>Odontotermes</i> sp.2, <i>Coptotermes curvignathus</i> , <i>Nasutitermes</i> sp., <i>Schedorhinotermes</i> sp., <i>Microtermes serrula</i> , <i>Bulbitermes</i> sp., dan <i>Havilanditermes</i> sp.	Metode penelitian ini berbeda, yaitu <i>transect sampling</i> , belum fokus meneliti morfometrik mandibula rayap pada kasta prajurit, hanya meneliti linear morfometrik, dan menggunakan

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Judul/Penulis /Tahun	Metode	Hasil	Gap Penelitian
				perangkat lunak berbeda.
7.	Morphometric Variation and Genetic Relationship of <i>Coptotermes</i> spp. (<i>Blattodea Rhinotermitidae</i>) in Sarawak, Malaysia (Jamil <i>et al.</i> , 2018).	Rayap <i>Coptotermes</i> spp. kasta prajurit dikumpulkan dengan metode <i>random sampling</i> dan protokol standar dengan modifikasi <i>transect sampling</i> . Pengukuran morfometrik menggunakan perangkat lunak <i>Motic Image Plus</i> 2.0 hingga analisis filogenetik. Analisis data morfometrik menggunakan analisis DFA (<i>Discriminant Function Analysis</i>) dan analisis statistik SPSS	Analisis DFA menunjukkan lebar postmentum, dikategorikan sebagai karakter morfologi terbaik untuk membedakan empat spesies <i>Coptotermes</i> spp.. Analisis filogenetik dari COII menunjukkan <i>C. sepangensis</i> dan <i>C. kalshoveni</i> adalah spesies yang sama.	Genus yang digunakan, yaitu kasta prajurit dari berbagai genus, objek yang digunakan, yaitu mandibula rayap, dan analisis morfometrik yang dilakukan, yaitu analisis linear morfometrik dan analisis geometrik morfometrik. Data linear morfometrik dianalisis menggunakan software <i>microsoft</i>

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Judul/Penulis /Tahun	Metode	Hasil	Gap Penelitian
				<i>excel</i> dan data geometrik morfometrik menggunakan software <i>MorphoJ</i> dengan analisis PCA dan DFA
8.	Shape Variation of Mandible and Head in <i>Lucanus cervus</i> (Coleoptera: Lucanidae): A Comparison of Morphometric Approaches (Romiti <i>et al.</i> , 2016)	Penelitian ini menggunakan 230 jantan <i>L. cervus</i> yang diambil dari dua lokasi berbeda, pengukuran di lapangan, termasuk panjang mandibula (ML) dan panjang elytron (EL). Kemudian analisis geometrik morfometrik menggunakan kumplan data 2D.	Bentuk mandibula dan kepala tergantung ukuran centroid dan ukuran tubuh (EL). Variasi mandibula dan kepala pada kumbang rusa jantan dapat dipengaruhi oleh seleksi seksual dan struktur morfologi yang kompleks.	Perbedaan objek yang digunakan adalah kasta prajurit dari berbagai genus dan meneliti variasi ukuran dan bentuk mandibula.
9.	Morfometrik dan Karakteristik	Penelitian ini merupakan penelitian eksploratif	Ditemukan <i>Coptotermes</i> sp.	Objek yang digunakan, yaitu

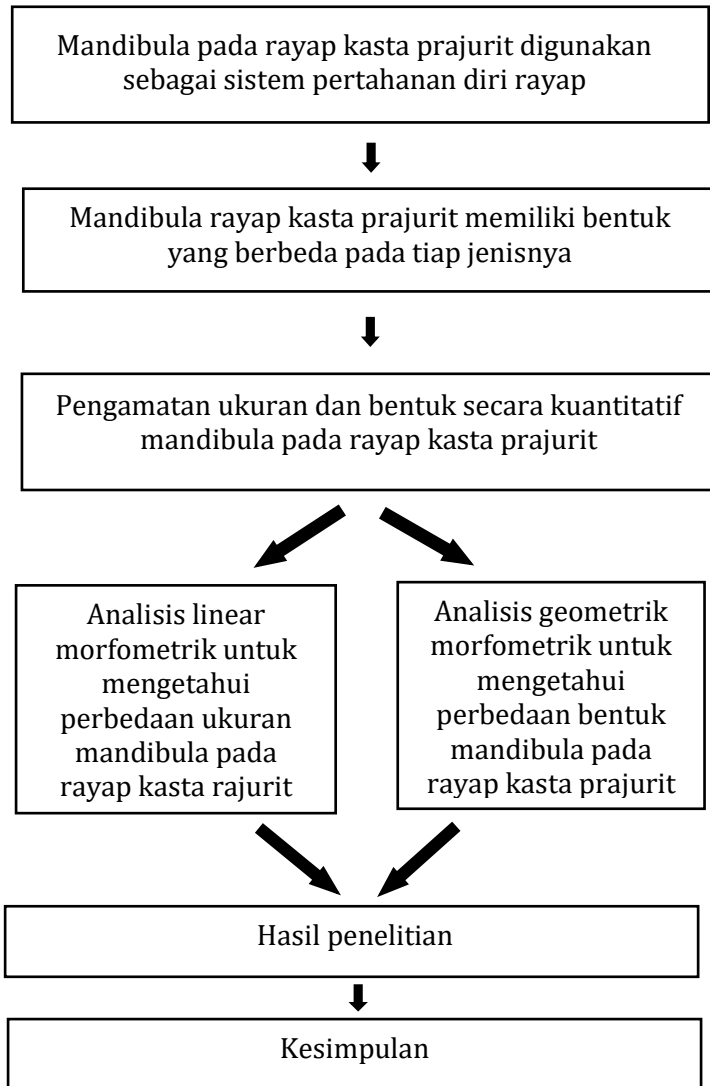
Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Judul/Penulis /Tahun	Metode	Hasil	Gap Penelitian
	Serangan <i>Coptotermes</i> sp. Pada Gedung Pemerintahan di Kabupaten Bantaeng, Sulawesi Selatan (Arif & Nurdianty, 2015)	terbuka dan pengumpulan sampel dilakukan dengan metode <i>insidental sampling</i> . Pengukuran morfometrik dilakukan menggunakan mikroskop stereo. Analisis data secara deskriptif dan analisis statistik SPSS.	berdasarkan similaritas morfologi dan morfometrik kasta prajurit serta analisis cluster. Rayap yang ditemukan menyerang dokumen.	mandibula rayap, metode yang digunakan, yaitu metode <i>stakes baiting technique</i> , serta analisis morfometrik yang akan digunakan, yaitu analisis linear morfometrik (dianalisis dengan <i>microsoft excel</i>) dan analisis geometrik morfometrik (dianalisis dengan <i>MorphoJ</i> dengan analisis PCA dan DFA)
10.	Morphometric Analysis of	Kasta pekerja dan prajurit dari <i>Coptotermes</i>	Variasi morfometrik <i>Coptotermes</i> sp. dari	Objek yang digunakan, yaitu

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Judul/Penulis /Tahun	Metode	Hasil	Gap Penelitian
	<i>Coptotermes</i> sp. Population From Two Different Nests (Arif & Taskirawati, 2012)	sp. dikumpulkan dari dua sarang berbeda. Analisis morfometrik dilakukan dengan mikrometer yang terkalibrasi. Data dianalisis secara deskriptif dan menggunakan perangkat lunak SPSS.	dua sarang yang berbeda relatif sama. Torak, antena, kaki (depan, tengah, dan belakang) dari kasta pekerja kemudian kepala, thoraks, antena, abdomen, kaki (depan dan belakang) dari kasta prajurit terlihat terdapat perbedaan.	kasta prajurit dari berbagai genus dan analisis morfometrik yang dilakukan, yaitu analisis linear morfometrik dan analisis geometrik morfometrik.

C. Kerangka Berpikir



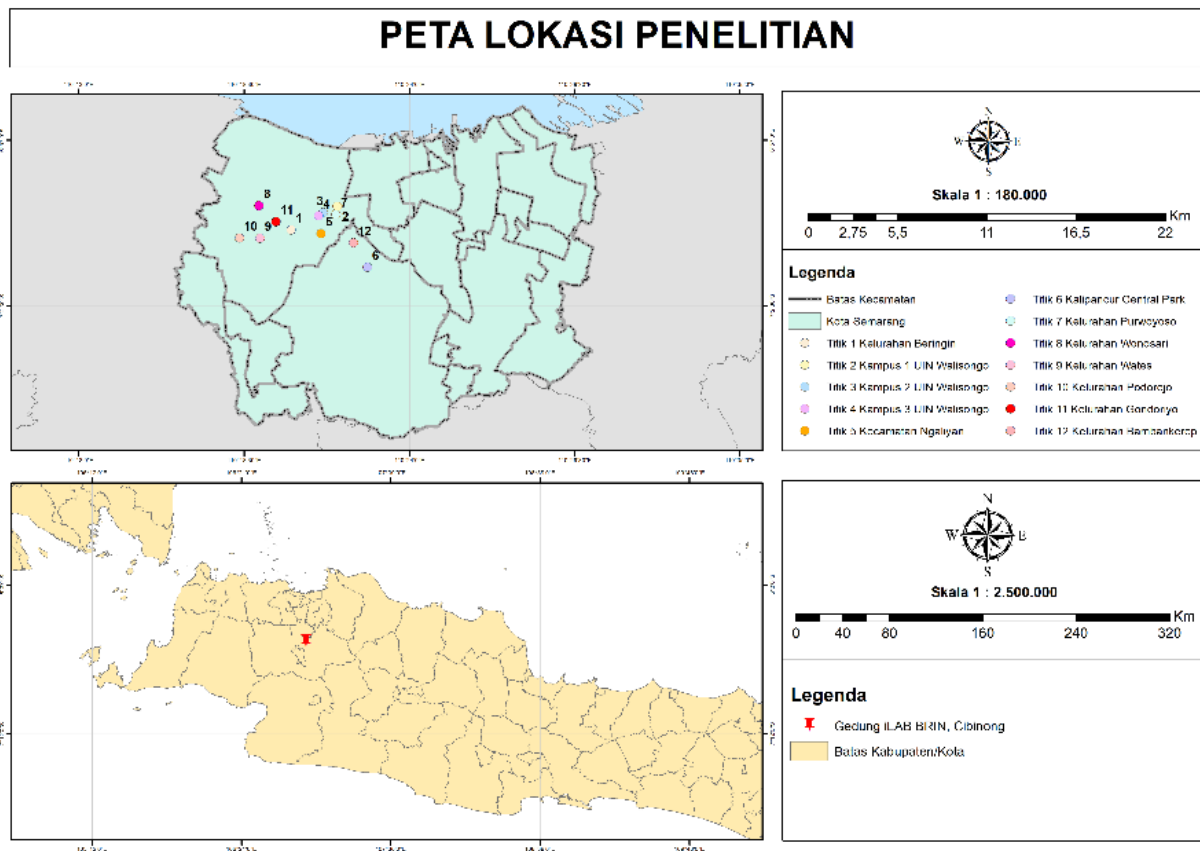
Gambar 2. 7 Diagram kerangka berpikir

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Pengambilan sampel rayap dilakukan di 10 kelurahan di Kecamatan Ngaliyan, Kota Semarang dan area gedung ILAB BRIN Cibinong, Jawa Barat. Tahapan identifikasi hingga tingkat genus dan analisis morfometrik dilakukan di laboratorium Karakterisasi Mikroskopi gedung iLaB BRIN Cibinong, Jawa Barat. Penelitian ini dilakukan pada rentang bulan November 2024 – Februari 2025



Gambar 3.1 Peta lokasi pengambilan sampel rayap (Diolah menggunakan ArcGis ver. 10)

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah sekop, palu, meteran, aspirator, kuas, nampan 30 cm, penggaris 30 cm, gunting, *box container*, gunting *micro*, perangkat lunak GPS *Geo-Tagging Camera*, cawan `petri (Normax), pinset, mikroskop stereo (Olympus SZ61), mikroskop digital (VHX 6000-S650E, Keyence Corp., Osaka, Jepang), mikroskop *Scanning Electron Microscope* (SEM) (JSM-IT200), *microwave* (Sharp R-728 (k)-IN), perangkat lunak *Microsoft Excel*, perangkat lunak *tpsUtil* versi 1.83, perangkat lunak *tpsDig* versi 2.32, perangkat lunak *MorphoJ* versi 1.08.02, kamera hp, dan alat tulis.

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rayap kasta prajurit yang ditemukan, botol vial kaca 1,5 mL, *seal tape*, akuades, etanol 70%, tali rafia, label, kayu karet 30 cm, kapas, dan *double-tape*.

C. Metode Penelitian

1. Koleksi Sampel Rayap

Rayap kasta prajurit dikoleksi dari lokasi yang berbeda dengan menggunakan metode *stakes baiting*.

Metode *stakes baiting*, yaitu metode pengumpanan rayap yang digunakan untuk pengambilan sampel dengan mengikuti prosedur (Su & Schefrahn, 1986). Kayu yang digunakan sebagai umpan rayap adalah jenis kayu karet dengan mengikuti prosedur (Diba *et al.*, 2016). Kemudian pengambilan sampel rayap menggunakan metode *random stratified sampling*. Sampel rayap disimpan dalam botol vial berisi etanol 70% dan di *seal*.

2. Tahap Identifikasi

Identifikasi rayap dilakukan hingga tingkat genus. Setiap spesimen diambil menggunakan pinset dan diletakkan di atas cawan petri yang dialasi kapas yang telah diberi etanol 70% agar spesimen tidak mudah rusak dan permukaan kapas yang memudahkan pengamatan morfologi. Identifikasi dilakukan dengan bantuan mikroskop stereo dan mikroskop digital dengan ukuran skala 100 μm . Identifikasi rayap dilakukan dengan melihat perbedaan morfologi rayap sesuai dengan kunci identifikasi dari berbagai acuan buku, diantaranya buku berjudul *Key to the Indomalayan Termites* (Ahmad, 1958); *Termite Fauna of Assam Region, Eastern India* (Roonwal, M.I. dan Chhotani, 1961); *Termites (Isoptera) of Thailand*

(Ahmad, 1965); *Termite Pests of Agriculture in The Indian Region and Their Control* (Chhotani, 1980); *Termites of Sabah (East Malaysia)* (Thapa, 1982); *Termites of Peninsular Malaysia* (Darlington, 1994); *Memoirs of The Zoological Survey of India* (Maiti, 2006), serta literatur ilmiah. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa terdapat 6 genus yang ditemukan, yaitu genus *Coptotermes*, *Odontotermes*, *Microtermes*, *Macrotermes minor*, *Macrotermes mayor*, dan *Schedorhinotermes*.

3. Tahap Isolasi Mandibula

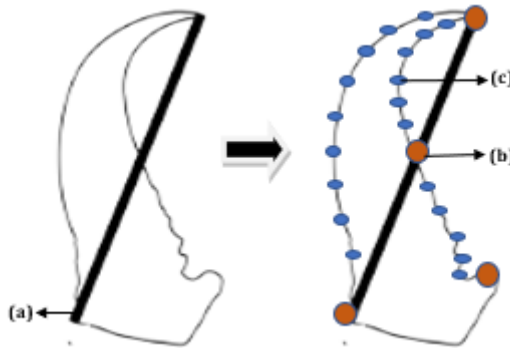
Tahap isolasi mandibula dilakukan dengan menggunakan enam genus rayap prajurit. Setiap genus diambil masing-masing tiga spesimen kecuali genus *Schedorhinotermes* sebanyak satu spesimen. Selanjutnya spesimen diletakkan di atas cawan petri dan diberi 1-2 tetes aquades. Kemudian spesimen dipanaskan menggunakan *microwave* selama $\pm$ 3-5 menit. Pemanasan spesimen ini bertujuan untuk melunakkan kulit dan jaringan di sekitar pangkal mandibula. Setelah dipanaskan, mandibula diisolasi di bawah mikroskop stereo dengan cara menekan bagian postmentum rayap agar mandibula dalam posisi terbuka. Kemudian dilakukan pemotongan bagian kepala dan dibersihkan sisa kulit dan jaringan hingga

pangkal mandibula. *Double-tape* ditempelkan di atas cawan petri lalu mandibula diletakkan di atas *double-tape*. Penggunaan *double-tape* bertujuan agar mandibula tidak mudah bergeser saat proses pembersihan mandibula dan pengamatan di bawah mikroskop digital. Setelah itu, pengamatan dan pengambilan gambar menggunakan mikroskop digital *Keyence* dengan ukuran skala 100 μm dan mikroskop SEM dengan ukuran skala 200 μm .

4. Analisis Linear Morfometrik

Analisis linear morfometrik mandibula rayap dilakukan menggunakan metode Wikantyo *et al.* (2021). Analisis linear morfometrik berupa data pengukuran panjang mandibula. Sebanyak 16 mandibula yang telah diisolasi kemudian dipotret menggunakan mikroskop digital *Keyence* dengan ukuran skala 100 μm . Pengukuran panjang mandibula menggunakan mandibula bagian kiri. Pengukuran panjang mandibula dilakukan dari titik pangkal hingga ujung mandibula. Data pengukuran kemudian ditabulasi untuk dianalisis secara statistik.

5. Analisis Geometrik Morfometrik



Gambar 3. 2 Ilustrasi penentuan landmark dan semi *landmark* pada mandibula rayap kasta prajurit: (a) garis semu; (b) *landmark*; dan (c) semi *landmark* (Wikantyo et al., 2024)

Analisis geometrik morfometrik terhadap bentuk mandibula rayap dilakukan dengan menggunakan metode Wikantyo et al. (2021) dengan menggunakan perangkat lunak *MorphoJ*. Sebanyak 16 spesimen rayap dari masing-masing genus dipotret dengan mikroskop digital dengan ukuran skala 100 μm . Gambar dikumpulkan dalam satu folder untuk dikonversi menjadi format TPS dengan menggunakan perangkat lunak *tps-Util* versi 1.83 (<https://www.sbmorphometrics.org/soft-utility.html>). *Landmark* dan *semi-landmark* anatomis ditentukan dan ditandai menggunakan perangkat lunak *tps-Dig* versi 2.32

(<https://sbmorphometrics.org/morphmet/tpsDig2w32.exe>). *Landmark* dan *semi-landmark* didefinisikan untuk mewakili bentuk objek dan ditentukan dari struktur yang mudah dan diamati berulang (Wikantyo *et al.*, 2021). *Landmark* dikoleksi pada mandibula kiri di bagian topografi yang jelas, yaitu pangkal mandibula di *outer area* (*landmark* 1), ujung mandibula (*landmark* 2), pangkal mandibula di *inner area* (*landmark* 3), dan lateral pertemuan garis semu (*landmark* 4). Sedangkan *semi-landmark* dikoleksi pada garis lengkung atau bagian yang sulit diamati pada mandibula.

Kemudian penggabungan *landmark* dan *semi-landmark* menjadi *landmark* menggunakan perangkat lunak *tpsUtil*. Selanjutnya untuk mengubah karakter desimal menjadi titik agar kompatibel menggunakan perangkat lunak *tpsDig*. Data *landmark* selanjutnya diimpor ke *MorphoJ* 1.08.02(https://morphometrics.uk/MorphoJ_page.html) dalam format tps menggunakan metode *Procrustes superimposition* (Klingenberg, 2011). *Procrustes superimposition* dilakukan untuk menghilangkan efek ukuran dan orientasi. Rata-rata bentuk mandibula rayap prajurit dari berbagai genus akan dihasilkan dan dianalisis dalam *MorphoJ*.

Kemudian dilakukan analisis PCA (*Principal Component Analysis*) untuk mengidentifikasi pola variasi bentuk mandibula antar genus (Harris, 2020). Hasil PCA divisualisasikan dalam bentuk grafik *scatter plot* yang terdiri dari PC (*Principal Component*) 1 dan 2. Perbedaan bentuk antar genus dianalisis lebih lanjut agar lebih akurat menggunakan analisis DFA (*Discriminant Function Analysis*) dengan melakukan uji signifikansi.

6. Analisis Data

Data linear morfometrik dianalisis menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* untuk mengetahui nilai *mean* (rata-rata) dan standar deviasi. Kemudian data dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk mendapatkan interpretasi variasi ukuran mandibula rayap kasta prajurit yang spesifik (Harris, 2020).

Data geometrik morfometrik dianalisis menggunakan analisis PCA dan analisis DFA. Analisis PCA berupa grafik *scatterplot* untuk mendapatkan interpretasi variasi bentuk mandibula rayap kasta prajurit yang spesifik Harris (2020) dan analisis DFA berupa nilai *procrustes distance*, *mahalanobis distance*, dan *P-value* (1000 *permutation runs*) untuk

mendapatkan perbedaan bentuk mandibula rata-rata (Manacorda & Asurmendi, 2018). Perbedaan yang signifikan secara statistik dianggap jika nilai $p < 0,05$.

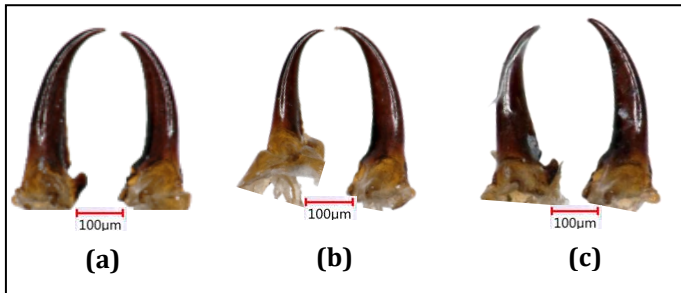
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Penampakan Bentuk Mandibula Rayap Kasta Prajurit dari Berbagai Genus

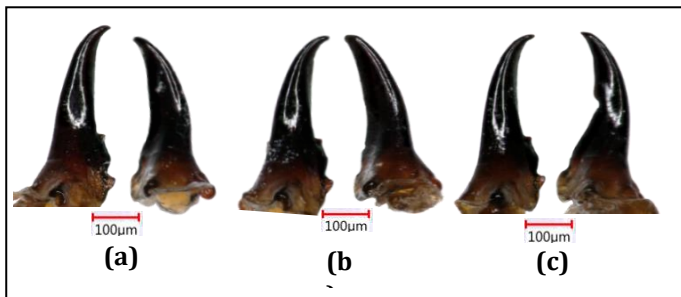
Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit dari berbagai genus yang berhasil diisolasi sebanyak 16 spesimen menunjukkan bentuk mandibula yang bervariasi, hasil penampakan mandibula dapat dilihat pada gambar 4.1-4.6.



Gambar 4. 1 Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus *Coptotermes* dengan ukuran skala 100 µm (Dokumentasi penelitian, 2025)

Genus *Coptotermes* (gambar 4.1), dapat dideskripsikan bahwasannya ketiga mandibula berbentuk seperti alat potong ‘Sabit’ sedikit

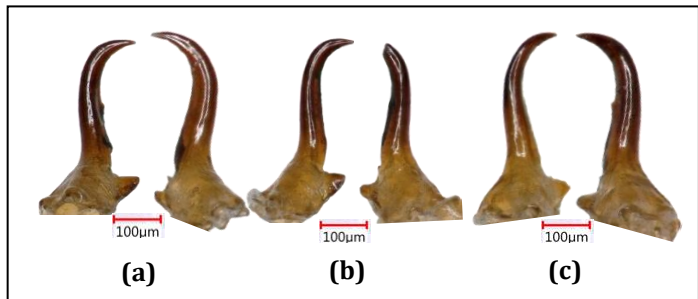
melengkung dari bagian apikal hingga basal mandibula, berwarna cokelat kemerahan (apikal) dan kuning (basal), sedikit bergerigi, hanya memiliki gigi apikal (*apical tooth*), batas *inner area* mandibula kanan relatif lebih rata tanpa adanya tonjolan atau lekukan. Bentuk gigi pada penelitian ini sesuai dengan penelitian Takematsu & Vongkaluang (2012), yang menyatakan bahwa *Coptotermes gestroi* Wasmann, 1896 memiliki mandibula sedikit melengkung dan tidak memiliki gigi lateral (*lateral tooth*).



Gambar 4. 2 Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus *Odontotermes* dengan ukuran skala 100 µm (Dokumentasi penelitian, 2025)

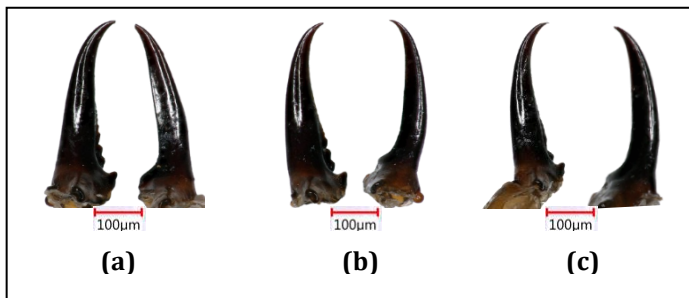
Genus *Odontotermes* (gambar 4.2), dapat dideskripsikan bahwasannya ketiga mandibula berbentuk seperti bentuk capit dengan ujung yang tajam, berwarna cokelat kehitaman (apikal) dan

cokelat kekuningan (basal), adanya gigi lateral (*lateral tooth*) tunggal terletak di mandibula kiri bagian *inner area* bawah, bagian apikal yang tajam dan tebal serta bagian basal yang lebih lebar. Gambar 4.2.C dapat dilihat terdapat cekungan di *inner area* setengah dari bagian mandibula kanan. Bentuk gigi pada penelitian ini sesuai dengan penelitian Zaman *et al.* (2022), mandibula rayap genus *Odontotermes* umumnya melengkung berbentuk bulan sabit cokelat gelap atau kehitaman, bagian apikal yang tajam dan bagian basal yang lebih lebar, serta mandibula kiri terdapat gigi lateral (*lateral tooth*) tunggal yang tajam dan jelas di bagian *inner area*.



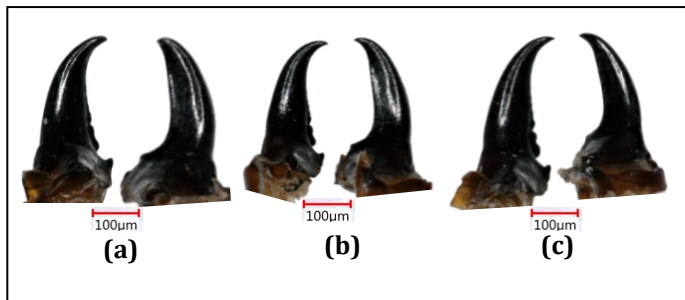
Gambar 4. 3 Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus *Microtermes* dengan ukuran skala 100 μm (Dokumentasi penelitian, 2025)

Genus *Microtermes* (Gambar 4.3). dapat dideskripsikan bahwasannya ketiga mandibula berbentuk seperti alat potong 'Arit', *outer area* sangat melengkung, sementara *inner area* melengkung mengikuti *outer area*, berwarna cokelat (apikal) dan kuning (basal), mandibula (Gambar 4.3.b) hanya memiliki gigi apikal (*apical tooth*), mandibula kiri (Gambar 4.3.a) dan mandibula kanan (Gambar 4.3.c) terdapat gigi lateral (*lateral tooth*). Bentuk gigi pada penelitian ini sesuai dengan dengan penelitian yang dilakukan oleh Arinana *et al.* (2025), *Microtermes insperatus* memiliki mandibula berbentuk seperti alat pancing 'Kait', adanya dentikel kecil (gigi lateral), serta berbentuk asimetri.



Gambar 4. 4 Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus *Macrotermes* minor dengan ukuran skala 100 µm (Dokumentasi penelitian, 2025)

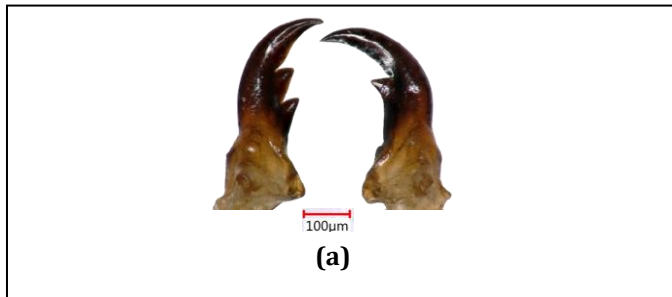
Genus *Macrotermes* minor (Gambar 4.4), dapat dideskripsikan bahwasannya ketiga mandibula berbentuk relatif lurus dan sedikit melengkung di bagian apikal, berwarna coklat gelap, mandibula kiri bergerigi dan terdapat gigi lateral (*lateral tooth*) dalam bentuk serasi seperti gergaji, dan batas *inner area* ketiga mandibula kanan relatif lebih rata tanpa adanya tonjolan atau lekukan. Deskripsi tersebut didukung oleh temuan Anjelia *et al.* (2025), mandibula prajurit *Macrotermes gilvus* minor berwarna coklat gelap kehitaman, tipis, dan melengkung panjang di bagian apikal tanpa adanya gigi lateral di kedua sisi mandibula.



Gambar 4. 5 Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus *Macrotermes* mayor dengan ukuran skala 100 µm (Dokumentasi penelitian, 2025)

Genus *Macrotermes* mayor (Gambar 4.5), dapat dideskripsikan bahwasannya ketiga mandibula

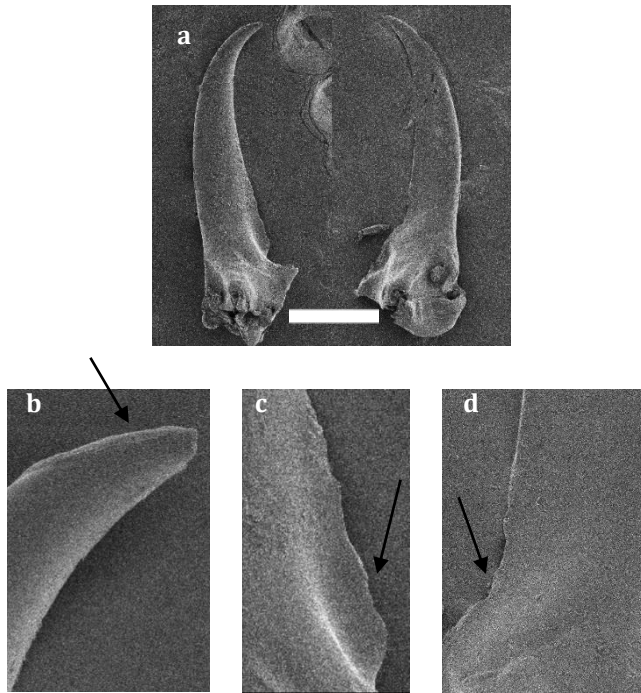
berbentuk tebal melengkung seperti sabit, berwarna hitam, mandibula kiri bergerigi dan terdapat gigi lateral (*lateral tooth*) dalam bentuk serasi seperti gergaji, dan batas *inner area* ketiga mandibula kanan relatif lebih rata tanpa adanya tonjolan atau lekukan. Pernyataan tersebut didukung oleh temuan Anjelia *et al.* (2024), mandibula prajurit *Macrotermes gilvus* mayor berwarna hitam, sedikit melengkung di bagian apikal, tebal dan berbentuk seperti pedang yang kuat, *inner area* mandibula kiri memiliki *crenulasi* (tepi bergerigi atau berlekuk-lekuk) bagian bawah.



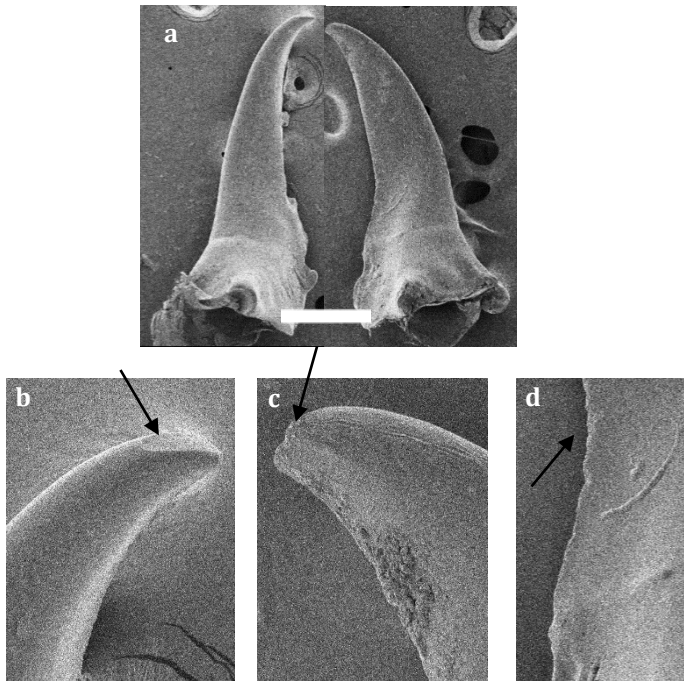
Gambar 4. 6 Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus *Schedorhinotermes* dengan ukuran skala 100 μm (Dokumentasi penelitian, 2025)

Genus *Schedorhinotermes* (Gambar 4.6), dapat dideskripsikan bahwasannya ketiga mandibula berbentuk melengkung, berwarna cokelat gelap (apikal) dan kuning (basal), memiliki dua gigi lateral

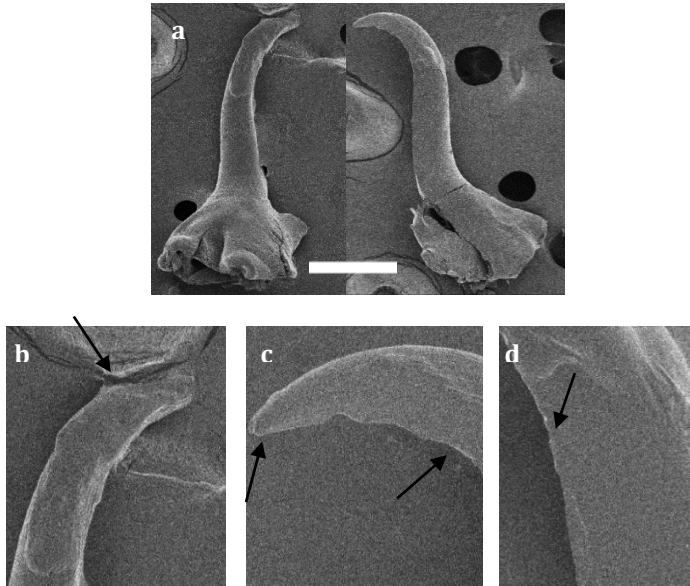
(*lateral tooth*) di mandibula kiri dan satu gigi lateral (*lateral tooth*) di mandibula kanan yang sangat jelas. Deskripsi tersebut selaras dengan temuan Arif *et al.* (2019), ciri mandibula rayap prajurit genus *Schedorhinotermes*, yaitu berbentuk melengkung dan gigi marginal (*lateral tooth*) yang sangat menonjol.



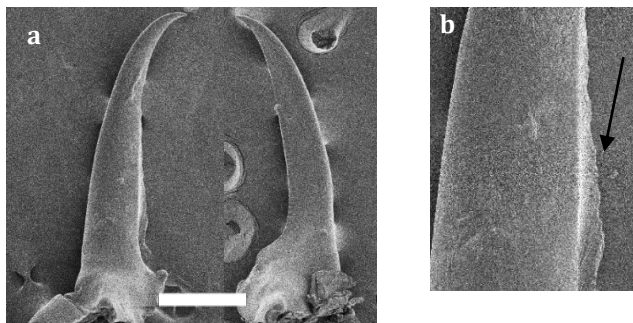
Gambar 4. 7 Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus *Coptotermes* menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan ukuran skala 200 μm (Dokumentasi penelitian, 2025)



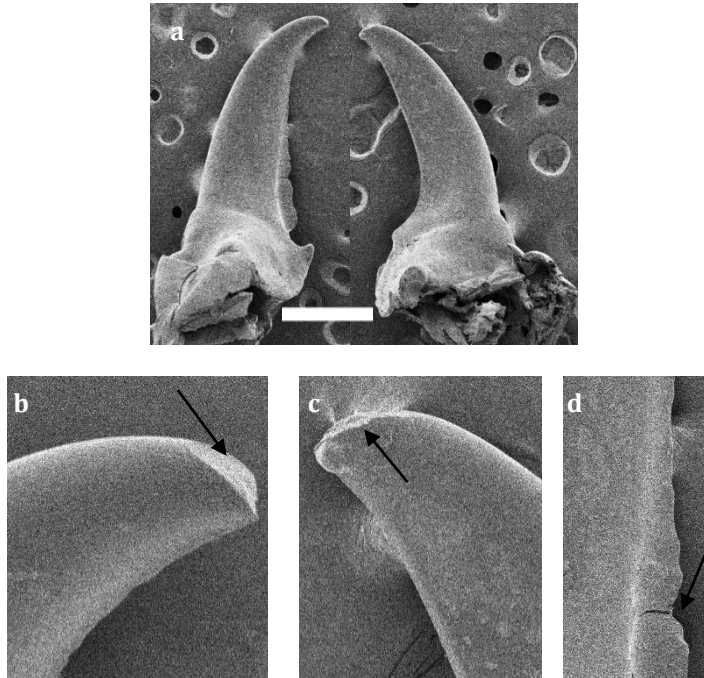
Gambar 4. 8 Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus *Odontotermes* menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan ukuran skala 200 μm (Dokumentasi penelitian, 2025)



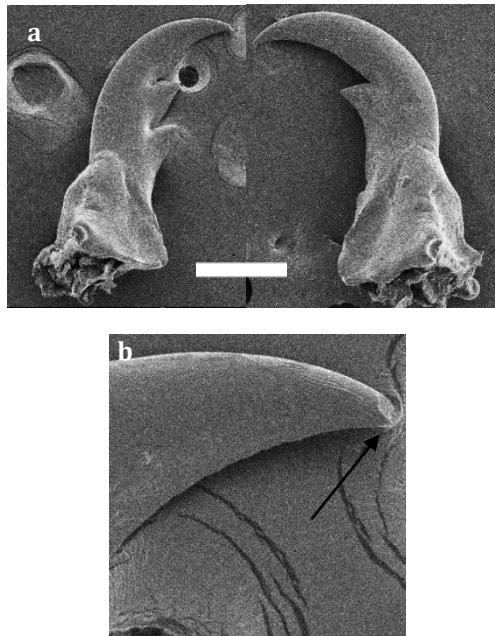
Gambar 4. 9 Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus *Microtermes* menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan ukuran skala 200 μm (Dokumentasi penelitian, 2025)



Gambar 4. 10 Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus *Macrotermes minor* menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan ukuran skala 200 μm (Dokumentasi penelitian, 2025)



Gambar 4. 11 Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus *Macrotermes* mayor menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan ukuran skala 200 μm (Dokumentasi penelitian, 2025)



Gambar 4. 12 Penampakan bentuk mandibula rayap kasta prajurit genus *Schedorhinotermes* menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan ukuran skala 200 μm (Dokumentasi penelitian, 2025)

Berdasarkan gambar 4.7-4.12 terdapat struktur mandibula yang diamati menggunakan mikroskop SEM menunjukkan adanya reduksi (erosi atau kerusakan). Genus *Coptotermes* tereduksi di bagian apikal (Gambar 4.7.b) dan distal (Gambar 4.7.c) mandibula kiri dan distal (Gambar 4.7.d) mandibula kanan. Genus *Odontotermes* tereduksi di bagian apikal

(Gambar 4.8.b) mandibula kiri dan apikal (Gambar 4.8.c) dan distal (Gambar 4.8.d) mandibula kanan. Genus *Microtermes* tereduksi di bagian apikal (Gambar 4.9.b) mandibula kiri dan apikal (Gambar 4.9.c) dan distal (Gambar 4.9.d) mandibula kanan. Genus *Macrotermes* minor tereduksi di bagian distal (Gambar 4.10.b) mandibula kiri. Genus *Macrotermes* mayor tereduksi di bagian apikal (Gambar 4.11.b dan gambar 4.11.c) kedua mandibula dan distal (Gambar 4.11.d) mandibula kiri. Genus *Schedorhinotermes* tereduksi di bagian apikal (Gambar 4.12.b) mandibula kiri. Setiap genus rayap prajurit juga terdapat rambut sebagai organ sensorik yang terletak di bagian basal mandibula.

2. Analisis Linear Morfometrik terhadap Pengukuran Panjang Mandibula Rayap Kasta Prajurit

Analisis linear morfometrik dilakukan untuk mengukur panjang mandibula rayap kasta prajurit dari enam genus yang berbeda, hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Pengukuran panjang mandibula rayap kasta prajurit dari tiap genus

No.	Genus	Min (mm)	Max (mm)	Mean $\pm$ SD (mm)
1.	<i>Coptotermes</i>	0,688	0,785	0,752 $\pm$ 0,056
2.	<i>Odontotermes</i>	0,985	1,062	1,027 $\pm$ 0,039
3.	<i>Microtermes</i>	0,547	0,629	0,589 $\pm$ 0,041
4.	<i>Macrotermes</i> minor	1,167	1,258	1,206 $\pm$ 0,047
5.	<i>Macrotermes</i> mayor	1,544	1,663	1,595 $\pm$ 0,061
6.	<i>Schedorhinotermes</i>	0,788	-	-

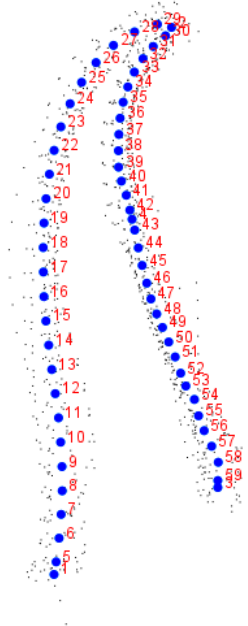
Berdasarkan analisis linear morfometrik terhadap hasil pengukuran panjang mandibula rayap kasta prajurit dari tiap genus pada tabel 4.1. Genus *Microtermes* memiliki rentang panjang mandibula terpendek (0,547-0,629 mm) dan rata-rata panjang mandibula terendah (0,589 mm), sedangkan genus *Macrotermes* mayor memiliki rentang panjang mandibula terpanjang (1,544-1,663 mm) dan rata-rata panjang mandibula tertinggi (1,595 mm). Kemudian genus *Schedorhinotermes* hanya terdapat satu sampel dengan panjang mandibula (0,788 mm).

Standar deviasi menunjukkan bahwa semakin besar nilai standar deviasi, semakin besar variasi panjang mandibula antar individu dalam satu genus. Standar deviasi tertinggi, yaitu genus *Macrotermes* mayor (0,061 mm), mengindikasikan variasi antar individu terbesar dibandingkan genus lain, sedangkan

standar deviasi terendah, yaitu genus *Odontotermes* (0,039 mm), mengindikasikan variasi antar individu terkecil atau cenderung homogen dibandingkan genus lain.

3. Analisis Geometrik Morfometrik terhadap Bentuk Mandibula Rayap Kasta Prajurit Menggunakan Perangkat Lunak MorphoJ

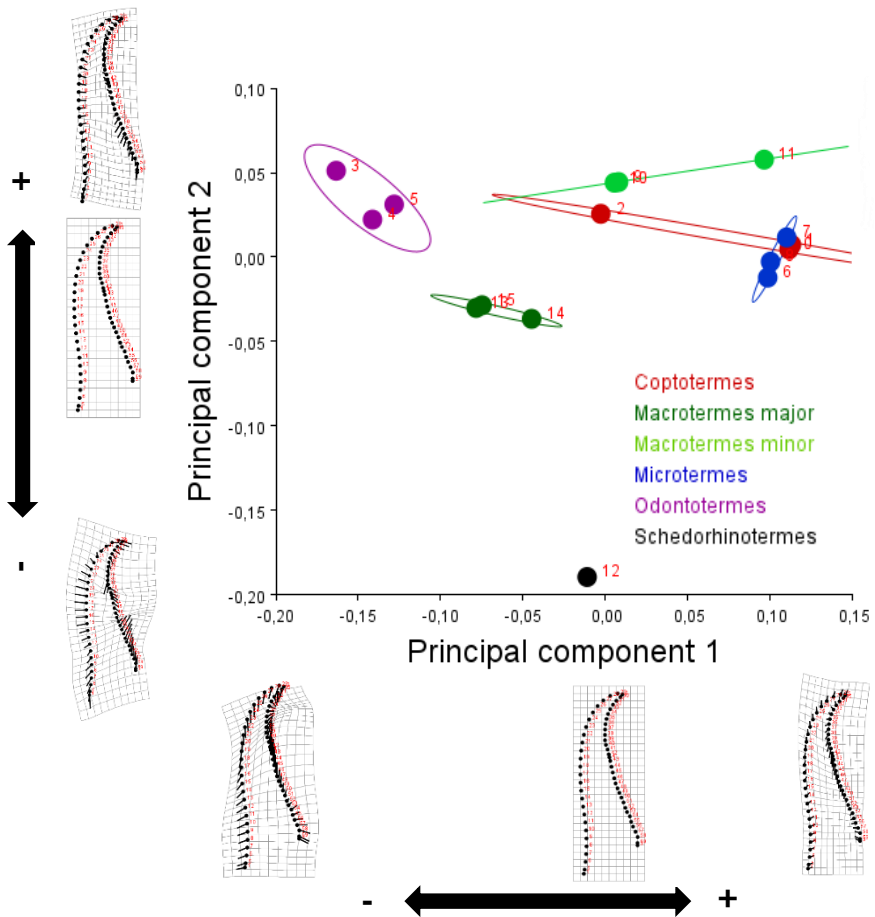
Analisis geometrik morfometrik dilakukan untuk memvisualisasikan dan mengetahui variasi bentuk mandibula rayap kasta prajurit dari enam genus yang berbeda menggunakan perangkat lunak *MorphoJ*, hasil analisis dapat dilihat pada gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Rata-rata *landmark* hasil dari *Procrustes* terhadap variasi bentuk mandibula rayap kasta prajurit dari tiap genus

Rata-rata *landmark* hasil dari *Procrustes* terhadap variasi bentuk mandibula rayap kasta prajurit (gambar 4.13), menggambarkan distribusi variasi bentuk mandibula rayap kasta prajurit. Dalam penelitian ini menghasilkan 4 titik *landmark* dan 55 titik *semi-landmark*. Titik-titik biru besar (sentroid) menggambarkan bahwa rata-rata (*average*) dari keseluruhan titik *landmark* yang terbentuk, sedangkan titik-titik biru kecil menggambarkan

representasi dari seluruh titik *landmark* sebagai bentuk mandibula rayap.



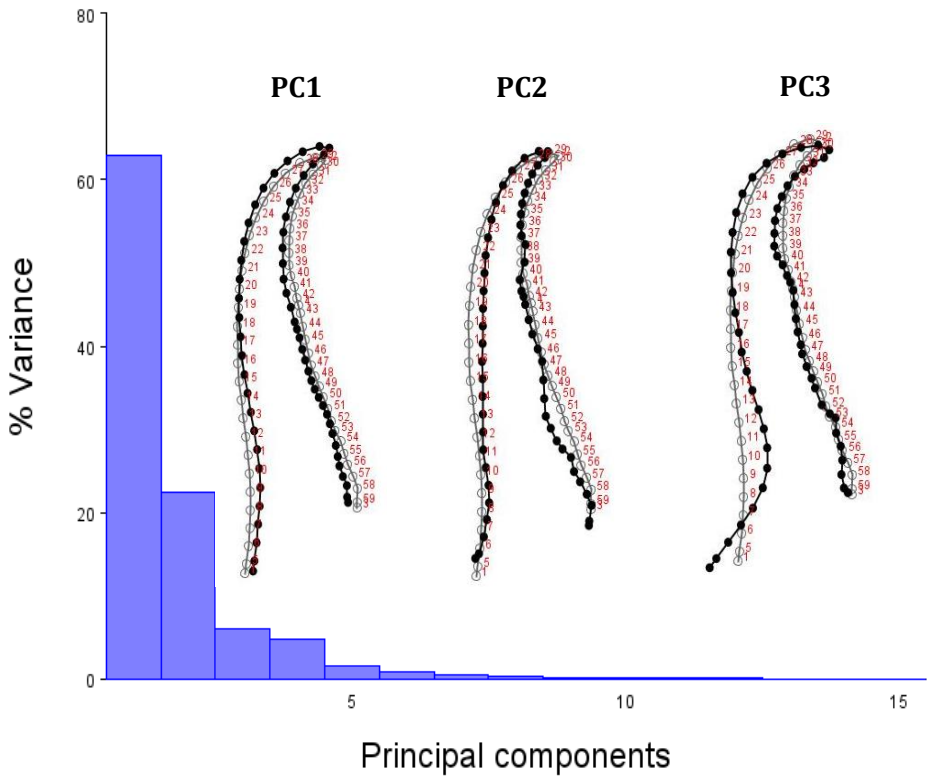
Gambar 4. 14 *Principal Component Analysis* (PCA) terhadap bentuk mandibula rayap kasta prajurit yang dianalisis secara geometrik morfometrik menggunakan perangkat lunak *MorphoJ*

Berdasarkan gambar 4.14, terdapat *convidential ellips* yang bersinggungan menunjukkan adanya tumpang tindih yang signifikan antara genus *Coptotermes* dan genus *Microtermes*, mengindikasikan adanya karakteristik bentuk mandibula yang mirip. Genus *Coptotermes* dan *Macrotermes* minor juga memiliki *convidential ellips* yang sedikit bersinggungan, mengindikasikan adanya karakteristik bentuk mandibula yang sedikit mirip. Kemudian *convidential ellips* genus *Macrotermes* mayor dan genus *Odontotermes* tidak bersinggungan dengan genus yang lain, mengindikasikan adanya variasi bentuk mandibula yang sangat berbeda di antara semua genus. Genus *Schedorhinotermes* berjumlah satu spesimen sehingga tidak dapat membentuk *convidential ellips* dan terletak paling jauh dari genus yang lain.

PC1 terletak pada sumbu X menerangkan bahwa terdapat dua kecenderungan perbedaan bentuk dengan nilai positif dan negatif. Genus *Coptotermes*, *Microtermes*, dan *Macrotermes* minor menunjukkan garis koordinat bergerak ke arah positif, mengindikasikan adanya perubahan bentuk gigi di *outer area* (*landmark* 1 dan 5-9) semakin

menyempit, ramping, dan tipis sehingga berbentuk melengkung. Genus *Odontotermes*, *Macrotermes* mayor, dan *Schedorhinotermes* menunjukkan garis koordinat bergerak ke arah negatif, mengindikasikan adanya perubahan bentuk gigi di *outer area* (landmark 1, 5-13) semakin melebar dan tebal.

PC2 terletak pada sumbu Y menerangkan bahwa terdapat dua kecenderungan perbedaan bentuk dengan nilai positif dan negatif. Genus *Coptotermes*, *Macrotermes* minor, *Microtermes*, *Odontotermes* menunjukkan garis koordinat bergerak ke arah positif, mengindikasikan adanya perubahan bentuk gigi di *outer area* (landmark 5-11), *inner area* bagian distal (landmark 4, 41-46), *inner area* bagian apikal (landmark 30-40) semakin menyempit, ramping, dan tipis. Genus *Macrotermes* mayor dan *Schedorhinotermes* menunjukkan garis koordinat bergerak ke arah negatif, mengindikasikan adanya perubahan bentuk gigi di *outer area* (landmark 1, 5-11) dan *inner area* (landmark 37-40) semakin menyempit, ramping, dan tipis.



Gambar 4. 15 Persentase varians pada bentuk mandibula rayap kasta prajurit menggunakan perangkat lunak *MorphoJ*

Berdasarkan grafik persentase varians pada bentuk mandibula rayap kasta prajurit yang tercantum pada gambar 4.15, sebagian besar variasi dalam data diilustrasikan oleh tiga komponen utama (PC). Setiap ilustrasi komponen utama menyajikan dua garis bentuk yang berbeda, mewakili variasi positif dan negatif pada masing-masing PC. Garis

berwarna abu-abu dan hitam yang dipaparkan pada gambar menunjukkan perubahan bentuk mandibula pada setiap PC. Perubahan bentuk mandibula digambarkan dengan pergerakan garis berwarna abu-abu menuju garis berwarna hitam.

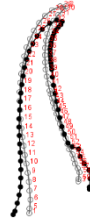
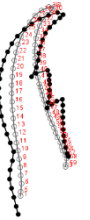
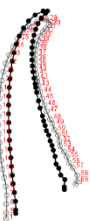
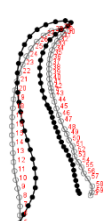
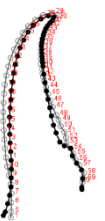
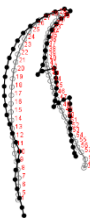
Tabel 4. 2 Nilai *eigenvalues*, persentase varians (% *Variance*), dan persentase kumulatif (*Cumulative %*) bentuk mandibula rayap kasta prajurit menggunakan *MorphoJ*

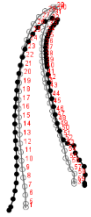
PCs	<i>Eigenvalues</i>	% <i>Variance</i>	<i>Cumulative %</i>
1.	0,00957939	62,944	62,944
2.	0,00342524	22,507	85,451
3.	0,00091490	6,012	91,463
4.	0,00073670	4,841	96,303
5.	0,00022709	1,492	97,796
6.	0,00013168	0,865	98,661
7.	0,00006834	0,449	99,110
8.	0,00004265	0,280	99,390
9.	0,00003099	0,204	99,594
10.	0,00001841	0,121	99,715
11.	0,00001371	0,090	99,805
12.	0,00001248	0,082	99,887
13.	0,00000745	0,049	99,936
14.	0,00000601	0,039	99,975
15.	0,00000377	0,025	100,000

Berdasarkan tabel 4.2 terdapat 15 komponen utama (*Principal Components*, PCs) yang dipaparkan, terdapat tiga komponen utama memiliki persentase

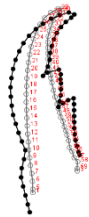
varians terbesar dengan total kumulatif varian mencapai 91,463%. Tiga komponen utama (PC) dengan persentase varians terbesar berturut-turut, diantaranya PC1 (62,944%) dengan nilai *eigenvalue* sebesar 0,00957939, PC2 (22,507%) dengan nilai *eigenvalue* 0,00342524, dan PC3 (6,012%) dengan nilai *eigenvalue* sebesar 0,00091490. Ketiga komponen utama sebagian besar memberikan informasi bentuk mandibula rayap prajurit tiap genus.

Tabel 4. 3 Analisis DFA (*Discriminant Function Analysis*) terhadap perbandingan bentuk mandibula rayap prajurit tiap genus

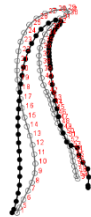
 <i>Coptotermes</i> – <i>Macrotermes major</i>	 <i>Coptotermes</i>– <i>Macrotermes minor</i>	 <i>Coptotermes</i> – <i>Microtermes</i>	 <i>Coptotermes</i> – <i>Odontotermes</i>	 <i>Coptotermes</i> – <i>Schedorhinotermes</i>
 <i>Macrotermes major</i> – <i>Macrotermes minor</i>	 <i>Macrotermes major</i> – <i>Microtermes</i>	 <i>Macrotermes major</i> – <i>Odontotermes</i>	 <i>Macrotermes major</i> – <i>Schedorhinotermes</i>	 <i>Macrotermes minor</i> – <i>Microtermes</i>



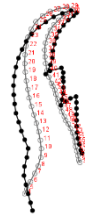
Macrotermes minor
– *Odontotermes*



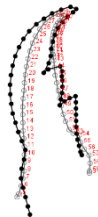
Macrotermes minor
– *Schedorhinotermes*



Microtermes –
Odontotermes



Microtermes –
Schedorhinotermes



Odontotermes –
Schedorhinotermes

Tabel 4. 4 Hasil statistik terhadap analisis DFA (*Discriminant Function Analysis*) terhadap perbandingan bentuk mandibula pada rayap kasta prajurit dari tiap genus

No.	Perbandingan Genus	<i>Procrustes distance</i>	<i>Mahalanobis distance</i>	<i>T-square</i>	<i>P-value (parametric)</i>	<i>P-Value (1000 permutation runs)</i>	
						<i>Procrustes distance</i>	<i>T-square</i>
1.	<i>Coptotermes</i> – <i>Macrotermes</i> major	0,15294547	3,0985	14,4010	0,06487	0,0260	0,0590
2.	<i>Coptotermes</i> – <i>Macrotermes</i> minor	0,06245078	2,1687	7,0551	0,7935	0,1390	0,1910
3.	<i>Coptotermes</i> – <i>Microtermes</i>	0,08071783	5,3583	43,0665	0,4249	0,0960	0,0830
4.	<i>Coptotermes</i> – <i>Odontotermes</i>	0,22382768	5,3794	43,4065	0,4235	0,0200	0,0780
5.	<i>Coptotermes</i> – <i>Schedorhinotermes</i>	0,22466410	1,2665	1,2029	0,7902	0,2780	0,2780
6.	<i>Macrotermes</i> major – <i>Macrotermes</i> minor	0,14459820	5,8500	51,3337	0,3936	0,0950	0,0640

No.	Perbandingan Genus	<i>Procrustes distance</i>	<i>Mahalanobis distance</i>	<i>T-square</i>	<i>P-value (parametric)</i>	<i>P-Value (1000 permutation runs)</i>	
						<i>Procrustes distance</i>	<i>T-square</i>
7.	<i>Macrotermes major</i> – <i>Microtermes</i>	0,18741419	7,3521	81,0809	0,3201	0,0630	0,0920
8.	<i>Macrotermes major</i> – <i>Odontotermes</i>	0,11924734	5,3054	42,2209	0,4285	0,0770	0,0490
9.	<i>Macrotermes major</i> – <i>Schedorhinotermes</i>	0,18613908	3,4099	8,7204	0,4319	0,1740	0,2350
10.	<i>Macrotermes minor</i> – <i>Microtermes</i>	0,11568003	6,2670	58,9134	0,3702	0,0800	0,0420
11.	<i>Macrotermes minor</i> – <i>Odontotermes</i>	0,18858700	4,2687	27,3327	0,5131	0,1180	0,0950
12.	<i>Macrotermes minor</i> – <i>Schedorhinotermes</i>	0,24504021	1,4035	1,4774	0,7584	0,2330	0,1600
13.	<i>Microtermes</i> – <i>Odontotermes</i>	0,25244737	8,8618	117,7984	0,2689	0,1040	0,1040

No.	Perbandingan Genus	<i>Procrustes distance</i>	<i>Mahalanobis distance</i>	<i>T-square</i>	<i>P-value (parametric)</i>	<i>P-Value (1000 permutation runs)</i>	
						<i>Procrustes distance</i>	<i>T-square</i>
14.	<i>Microtermes – Schedorhinotermes</i>	0,23204130	7,6611	44,0199	0,2085	0,1670	0,2590
15.	<i>Odontotermes – Schedorhinotermes</i>	0,26460766	10,0105	75,1571	0,1610	0,2510	0,2510

Hasil perbandingan analisis DFA terhadap bentuk mandibula rayap kasta prajurit dari berbagai genus disajikan dalam tabel 4.4 yang mencakup *procrustes distance*, *mahalanobis distance*, dan *Hotelling's T-square*, dengan pengujian signifikan berdasarkan *P-value* parametrik dan *P-Value* dari *permutation test* (1000 kali run).

Analisis ini mencakup 15 pasang perbandingan antar genus. Beberapa hasil yang menunjukkan indikasi perbedaan signifikan ($p < 0,05$), terutama berdasarkan *p-value permutation test*. Perbandingan *Macrotermes* mayor dan *Microtermes*, yaitu *p-value permutation test* untuk *procrustes distance* (0,0630), menunjukkan bahwa mendekati signifikan yang mengindikasikan bahwa ada perbedaan bentuk yang konsisten. Perbedaan *Macrotermes* mayor dan *Odontotermes*, yaitu *p-value permutation test* untuk *Procrustes distance* (0,0277) dan *T-square* (0,0490), mengindikasikan adanya perbedaan bentuk mandibula yang signifikan secara statistik. Perbandingan *Macrotermes* minor dan *Microtermes*, yaitu *p-value permutation test* untuk *Procrustes distance* (0,0880) dan *T-square* (0,0420), *T-square* menunjukkan bentuk mandibula yang

signifikan. Perbandingan *Coptotermes* dan *Macrotermes* mayor, yaitu *p-value permutation test* untuk *Procrustes distance* (0,0260) dan *T-square* (0,0590), mengindikasikan adanya perbedaan morfologi mandibula.

Sebagian besar perbandingan lainnya memiliki nilai $p > 0,05$, baik pada uji parametrik maupun *permutation test*. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan morfologi bentuk mandibula antar pasangan genus tersebut tidak signifikan secara statistik, meskipun nilai *Procrustes* atau *Mahalanobis distance* tetap menunjukkan adanya tingkat variasi bentuk. Dapat dilihat pada *Coptotermes* dan *Schedorhinotermes*, yaitu *Procrustes distance* (0,2446), namun *p-value* parametrik (0,7902) dan *p-value permutation test* (0,2780); *Microtermes* dan *Schedorhinotermes* memiliki *p-value* semua metode (uji parametrik dan uji permutation test *Procrustes distance* dan *T-square*), yaitu $> 0,16$; dan *Macrotermes* minor dan *Schedorhinotermes* memiliki *p-value* semua metode (uji parametrik dan uji permutation test *Procrustes distance* dan *T-square*), yaitu $> 0,15$.

Procrustes distance tertinggi diperoleh antara genus *Odontotermes* dan *Schedorhinotermes* (0,26),

mengindikasikan bahwa terdapat disimilaritas yang besar pada bentuk gigi pada kedua genus sehingga memiliki bentuk paling berbeda diantara perbandingan bentuk gigi genus lainnya. *Mahalanobis distance* tertinggi terdapat antara genus *Odontotermes* dan *Schedorhinotermes* (10,01), menunjukkan bahwa jarak antara *landmark* genus *Odontotermes* dan genus *Schedorhinotermes* adalah paling besar.

Genus *Odontotermes* dan *Schedorhinotermes* memang memiliki nilai *Procrustes distance* dan *Mahalanobis distance* tertinggi, yang mengindikasikan bahwa bentuk mandibula antara *Odontotermes* dan *Schedorhinotermes* adalah yang paling berbeda secara geometris dibandingkan dengan pasangan lainnya. Akan tetapi, tidak signifikan secara statistik karena memiliki nilai *p-value* yang tinggi.

B. Pembahasan

1. Analisis Morfometrik Mandibula pada Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus

a. Analisis Linear Morfometrik terhadap Pengukuran Panjang Mandibula Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus

Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa genus *Macrotermes* mayor memiliki rentang ukuran panjang mandibula terpanjang (1,544-1,663 mm), nilai *mean* tertinggi (1,596 mm) dan standar deviasi tertinggi (0,061 mm). Kemudian genus *Microtermes* memiliki rentang ukuran panjang mandibula terpendek (0,547-0,629 mm), nilai *mean* terendah (0,589 mm) dan standar deviasi (0,041 mm). Dalam penelitian identifikasi, dikatakan bahwa pengukuran morfologi merupakan parameter yang tidak reliabel dan bersifat sekunder sehingga, harus memprioritaskan parameter primer identifikasi lain yang lebih akurat. Ukuran morfologi tiap individu dapat berbeda-beda walaupun masih dalam satu spesies yang disebabkan beberapa faktor, antara lain kondisi lingkungan (fisik dan

kimiaawi) dan ancaman atau predator yang dijumpai (Wikantyoso *et al.*, 2024).

b. Komponen Analisis Geometrik terhadap Bentuk Mandibula Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus

Analisis geometrik morfometrik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GM TPS (*Geometric Morphometric Tools*), antara lain *tpsDig*, *tpsUtil*, dan *MorphoJ*. *TpsUtil* dapat mengonversi gambar mandibula rayap prajurit yang diambil (dalam format .JPG) menjadi file dengan ekstensi (.TPS) kemudian gambar dan *landmark* didigitalkan pada *tpsDig*, serta *MoprhoJ* untuk mengekstrak informasi bentuk dari file (dalam format .TPS) (Manacorda & Asurmendi, 2018).

Dalam penelitian ini, penggunaan *MorphoJ* dilakukan dengan menggunakan metode *Procrustes* dan analisis yang dilakukan adalah analisis PCA dan analisis DFA. Dalam analisis PCA, terdapat tiga tampilan atau tab yang dihasilkan, yaitu *PC shape changes* (perubahan bentuk yang terkait dengan setiap PC), *eigenvalues* (persentase total varians yang dijelaskan oleh setiap PC), dan

PC scores (grafik sebaran skor PC atau grafik *scatterplot*, menjelaskan distribusi spesimen mandibula sepanjang sumbu varians maksimal) (Manacorda & Asurmendi, 2018). Dalam tab PC *shape changes*, terdapat tiga grafik yang dapat membantu memvisualisasikan perubahan bentuk mandibula, yaitu grafik *wireframe*, grafik *lollipop*, dan grafik *transformation grid*. Tab *eigenvalues* atau persentase total varians bentuk mandibula menunjukkan nilai varians data yang paling dominan atau nilai persentase tertinggi. Tab PC scores, menghasilkan grafik *scatterplot* antara PC1 dan PC2 yang menggambarkan adanya *convidential ellips* yang terbentuk.

Convidential ellips menunjukkan tingkat kemiripan bentuk mandibula. Pada fitur *convidence ellips*, digunakan untuk mengelompokkan data yang memiliki rata-rata bentuk mandibula yang mirip. Dengan demikian, bentuk mandibula rayap prajurit dapat divisualisasikan melalui grafik *convidential ellips* yang menunjukkan bahwa seberapa besar variasi bentuk dalam kelompok tertentu. Hal ini dikaitkan dengan representasi bentuk mandibula

prajurit oleh (Preswitch, 1984), genus *Coptotermes*, *Odontotermes*, *Microtermes*, dan *Macrotermes* rata-rata memiliki *convidential ellips* yang bersinggungan dan hampir atau berdekatan sehingga rata-rata bentuk mandibula mirip. Genus *Schedorhinotermes* memiliki *convidential ellips* yang paling jauh di antara semua genus sehingga memiliki bentuk mandibula yang sangat berbeda.

PC1 dan PC2 digunakan sebagai komponen utama dalam menggambarkan variasi bentuk mandibula paling dominan dalam data. PC1 memiliki pola variasi bentuk mandibula terbesar di antara spesimen rayap prajurit dan PC2 sebagai pola variasi tambahan yang lain. Mitteroecker & Gunz (2009) dan Cooke & Terhune (2015) memaparkan bahwa PC1 menggambarkan seluruh variasi bentuk alometrik dalam satu spesies dan bersifat ortogonalitas terhadap komponen selanjutnya. Komponen PC3 juga sedikit berkontribusi dalam memberikan informasi meskipun tidak sebesar komponen PC1 dan PC2. Oleh karena itu, terkadang komponen PC3 dan komponen

selanjutnya tidak perlu dipertimbangkan untuk interpretasi lebih lanjut, karena semua informasi bentuk yang divisualisasikan sudah tertuang dalam komponen PC1 dan PC2.

PCA (*Principal Component Analysis*) adalah metode statistik untuk memvisualisasikan variasi dalam data tanpa mempertimbangkan kelompok, sehingga *scatterplot* hasil PCA sering diinterpretasikan secara konservatif (Rohlf, 2021) untuk menganalisis variasi bentuk antar kelompok. *Convidential ellips* yang terbentuk dapat mengindikasikan adanya perbedaan dan persamaan bentuk mandibula rayap prajurit tiap genus yang diinterpretasikan dalam grafik *scatterplot* PCA (Gambar 4.14). Kelompok-kelompok yang terisolasi dengan jelas dalam *scatterplot* PCA, maka dapat dibuktikan adanya perbedaan antar kelompok. Namun, jika tidak terisolasi dengan jelas (*convidential ellips* hampir atau bersinggungan) terdapat dua kemungkinan, yaitu adanya persamaan antar kelompok atau sedikit perbedaan yang tidak terdeteksi dalam analisis PCA (Cardini, 2024).

DFA (*Discriminant Function Analysis*) atau analisis fungsi diskriminan merupakan analisis statistik untuk mengoptimalkan perbedaan antara dua atau lebih kelompok yang relatif terhadap variasi dalam kelompok dan digunakan sebagai alat klasifikasi (Zelditch *et al.*, 2012). Analisis DFA dalam *MorphoJ* juga terdapat uji signifikansi, yaitu *Hottelling T-square* parametrik (ekuivalen multivariat dari uji *t-test*) dan uji permutasi (Manacorda & Asurmendi, 2018). *Hotelling T-square* dilakukan untuk mengukur jarak antara rata-rata genus dan menganalisis varians dalam genus rayap prajurit untuk menentukan apakah perbedaan tersebut secara statistik signifikan. Uji permutasi dilakukan untuk jarak *Procrustes* dan jarak mahalanobis dengan 1000 kali cek pengacakan sehingga, perbedaan antara dua genus atau lebih yang sudah diuji lebih akurat dan terpercaya.

Dalam penelitian ini, data statistik kurang signifikan dikarenakan data tidak memenuhi syarat, jumlah ulangan atau objek yang terlalu sedikit sehingga tidak terdeteksi oleh statistik, yaitu berjumlah tiga individu dalam tiap genus.

DFA memerlukan jumlah sampel yang lebih besar daripada jumlah variabel bentuk. Jika tidak, hasil uji signifikansi tidak valid.

c. Keterkaitan Antara Habitat dan Bentuk Mandibula Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus

Genus *Coptotermes* yang digunakan sebagai sampel penelitian berasal dari gedung iLab BRIN Cibinong dan dikenal sebagai hama perusak bangunan dan aset pertanian (Arinana *et al.*, 2025). *Coptotermes* berasal dari negara yang beriklim tropis dan subtropis dengan habitat hutan, perkebunan, dan lingkungan perkotaan (Chouvenc & Foley, 2018). Genus *Odontotermes* ditemukan di area pemukiman dan hutan yang masih asri di negara yang beriklim tropis dan subtropis, tepatnya Afrika dan Asia dan ditemukan pada kayu mati area perumahan dengan tanah cenderung lembab (Eggleton 2000; Manoppo *et al.*, 2024). Genus *Microtermes* ditemukan di hutan dan lingkungan yang masih asri di negara yang beriklim tropis dan subtropis, tepatnya Afrika dan Asia (Eggleton, 2000). Genus *Macrotermes* ditemukan di hutan, taman kampus, dan lingkungan yang masih asri. Prastyaningsih *et*

al. (2020) memaparkan genus *Macrotermes* banyak ditemukan di ekosistem hutan yang masih alami dengan kondisi lingkungan yang stabil. Genus *Schedorhinotermes* ditemukan di pohon atau kayu lapuk dan hutan yang masih asri seperti yang tertuang dalam penelitian (Indrayani *et al.*, 2017).

Keterkaitan antara habitat dan bentuk mandibula tiap genus rayap prajurit dipengaruhi oleh jenis predator dan ancaman yang dijumpai. Dalam penelitian ini, ditemukan adanya variasi bentuk dan ukuran mandibula tiap genus. Mandibula prajurit *Coptotermes* lebih ramping dan tipis dibandingkan dengan mandibula prajurit genus lain karena banyak dijumpai pada bangunan dan barang-barang yang bersifat komersial. Kemudian mandibula prajurit *Schedorhinotermes* cukup tebal tetapi kurang panjang dibandingkan dengan mandibula prajurit *Macrotermes*. dikarenakan masih banyak dijumpai di habitat alami seperti hutan kota, hutan kampus, dan terkadang di area pemukiman. Kedua genus merupakan rayap tingkat rendah dan tergolong dalam satu famili

Rhinotermitidae. Genus *Odontotermes*, *Microtermes*, dan *Macrotermes* banyak dijumpai pada hutan liar yang masih asri sehingga, sering dijumpai predator alami. Semut hitam besar merupakan salah satu predator alami yang seimbang dengan bentuk mandibula *Macrotermes* yang besar, panjang, dan tajam. Karakteristik predator alami mengakibatkan bentuk dan struktur mandibula rayap lebih besar, kuat, dan keras di antara genus yang lain. Gigi apikal termasuk gigi utama yang memiliki fungsi secara general dan gigi lateral memiliki fungsi khusus. Kemudian adanya eksistensi dan absensi gigi lateral pada genus *Microtermes* dan perbedaan jumlah gigi lateral tiap genus. Gigi lateral (*lateral tooth*) dapat diindikasikan sebagai karakter pembeda mandibula yang khas tiap genus.

Transfomasi habitat alami yang disebabkan oleh aktivitas manusia dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap morfologi dan kelangsungan hidup rayap. Fenomena tersebut menyebabkan rayap bertransmigrasi ke habitat baru atau mengurangi populasi di habitat yang sebelumnya stabil (Heriza *et al.*, 2024). Area

pemukiman, perkotaan, dan lahan terbuka umumnya memiliki diversitas yang semakin rendah. Diversitas yang rendah menunjukkan potensi keberadaan predator alami juga semakin sedikit yang memengaruhi adaptasi pertahanan pada mandibula. Rayap yang hidup di habitat alami cenderung menghadapi predator alami, seperti semut dan serangga sehingga, ukuran dan bentuk mandibula besar, tajam, dan tebal. Berbeda dengan rayap yang tinggal di habitat bukan alami, rayap jarang menghadapi predator alami dan mendapat ancaman yang lain seperti aktivitas manusia sehingga, ukuran dan bentuk mandibula ramping dan tidak tebal. Hal ini menunjukkan bahwa rayap yang tinggal pada lingkungan yang ekstrem memiliki mandibula yang lebih panjang, besar, dan kuat sebagai bentuk adaptasi untuk bertahan hidup (*survive*).

2. Morfologi, Fungsi, dan Bentuk Mandibula pada Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus

a. Keterkaitan Antara Morfologi, Fungsi, dan Bentuk Mandibula pada Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus

Mandibula adalah alat yang sangat vital bagi sebagian besar serangga (Blanke *et al.*, 2017), seperti rayap yang telah mengalami perubahan bentuk dan struktur yang sesuai dengan fungsi tiap individu. Secara umum, mandibula rayap kasta prajurit berfungsi sebagai rahang untuk memotong, merobek, mengoyak, atau menusuk predator dan ancaman lain di lingkungan. Morfologi mandibula rayap prajurit umumnya bervariasi sesuai dengan strategi pertahanan koloni dari berbagai genus.

Prajurit *Coptotermes* memiliki tipe mandibula penusuk dan penebas (*piercing-slashing*) karena hanya memiliki gigi apikal, bentuk yang lebih ramping, dan tajam. Hal ini didukung oleh pernyataan Prestwitch (1984), bentuk mandibula *Coptotermes* yang diamati mirip dengan tipe mandibula *piercing-slashing*. Prajurit *Odontotermes* memiliki tipe mandibula gigitan-penebas (*biting-slashing*) karena memiliki gigi apikal dan gigi lateral yang cukup tebal terletak di *inner area* bagian bawah mandibula, serta berbentuk seperti bulan sabit atau arit. Hal ini didukung oleh pernyataan Prestwitch (1984),

bentuk mandibula *Odontotermes* yang diamati mirip dengan tipe mandibula *biting-slashing*.

Prajurit *Microtermes* memiliki tipe mandibula penusuk-pengait (*piercing-latching*) karena memiliki gigi apikal ramping dan gigi lateral kecil (gambar 4.3.a dan 4.3.c) kecuali (gambar 4.3.b) memiliki tipe mandibula penusuk (*piercing*) karena hanya memiliki gigi apikal. Asumsi ini hampir mirip dengan representasi dari Prestwich (1984), bentuk mandibula *Microtermes* yang diamati mirip dengan tipe mandibula *piercing*.

Prajurit *Macrotermes* mayor maupun minor memiliki tipe mandibula gigitan-penebas (*biting-slashing*) karena memiliki gigi apikal dan gigi lateral. Gigi lateral yang dimiliki oleh genus ini hanya berbentuk seperti serasi atau gergaji dan tidak terlalu tajam, lebih tepat berfungsi untuk mengiris atau merobek tubuh yang tidak terlalu keras dan tebal. Asumsi ini didukung oleh pernyataan Prestwich (1984), bentuk mandibula *Macrotermes* yang diamati mirip dengan tipe mandibula *biting-slashing*.

Prajurit *Schedorhinotermes* memiliki tipe mandibula gigitan-pengoyak (*biting-tearing*)

karena memiliki gigi apikal dan gigi lateral yang jelas, tebal, dan tajam. Asumsi ini hampir mirip dengan representasi dari Prestwich (1984), bentuk mandibula *Schedorhinotermes* yang diamati mirip dengan tipe mandibula *biting*.

Perbedaan bentuk dan ukuran gigi apikal serta gigi lateral disebabkan oleh adaptasi lingkungan dan perbedaan jenis predator. Fenomena tersebut terjadi dalam penelitian ini, yaitu adanya variasi bentuk dan ukuran mandibula tiap genus serta eksistensi atau absensi gigi lateral pada genus *Microtermes*. Gigi lateral (*lateral tooth*) dapat diindikasikan sebagai karakter pembeda mandibula yang khas antar genus. Hal ini berarti bahwa gigi apikal memiliki fungsi general dan gigi lateral memiliki fungsi khusus.

b. Mekanisme Pertahanan Prajurit yang Berkaitan dengan Mandibula pada Rayap Kasta Prajurit

Keefektifan gigitan mandibula dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya morfologi mandibula. Morfologi mandibula dapat berupa ukuran, bentuk, dan struktur mandibula. Bidang

yang rata pada *outer area* dan besarnya ukuran mandibula dapat meningkatkan area permukaan sehingga memengaruhi kekuatan gigitan. Selain itu, struktur otot mandibula (otot kraniomandibular) pada rayap prajurit juga merupakan aspek penting yang berperan dalam mengendalikan gerakan mandibula dengan maksimal. Wikantyoso *et al.* (2021) menjelaskan bahwa perkembangan otot kraniomandibular memengaruhi pemanjangan postmentum dan pelebaran kepala selama diferensiasi prajurit. Area perlekatan otot dimulai dari basal mandibula hingga bagian belakang kepala, mengindikasikan semakin luas area perlekatan maka otot yang dimiliki lebih kuat dan besar. Hal ini diasumsikan bahwa genus dengan ukuran kepala dan postmentum yang besar dan panjang memiliki gigitan mandibula yang lebih kuat.

Bentuk mandibula yang lebih melengkung dapat mentransmisikan lebih banyak gaya, tekanan dorong, dan memperdalam potongan atau gigitan dibandingkan yang lebih lurus (Khorasani & Arjmandi, 2022). Dalam penelitian ini ditemukan pada genus *Coptotermes* dan

Microtermes sehingga, gigitan dan potongan yang dilakukan oleh kedua genus tersebut lebih tajam dan kuat dibandingkan dengan genus lain.

Mekanisme pertahanan rayap prajurit tidak hanya dilakukan secara fisik, melainkan dapat dilakukan secara kimiawi yang diproduksi oleh beberapa kelenjar. Quennedey (1978) dan Quennedey (1983) mengelompokkan tiga kelenjar utama yang dimiliki oleh rayap prajurit, yaitu kelenjar frontal, kelenjar saliva, dan kelenjar *cibarial*. Kelenjar frontal, cairan defensif disekresikan melalui lubang fontanel pada posterior kepala prajurit rayap dan rostrum (alat semprot cairan defensif) pada genus *Nasutitermes*. Kelenjar saliva, cairan defensif disekresikan secara ekstrem menggunakan kemampuan *autothysis* (meledakkan perut). Genus *Macrotermes* dan *Odontotermes* memiliki kelenjar saliva hipertrofi yang kaya akan kuinon dan bahan protein (Prestwittch, 1984). Kelenjar *cibarial*, cairan defensif disekresikan melalui *hyaline tip* yang transparan (ujung labrum yang tumpang tindih dengan mandibula), sering

ditemukan pada genus *Macrotermes* (Prestwitch, 1984).

Kombinasi pertahanan antara mandibula dan cairan defensif merupakan strategi pertahanan yang sangat efektif. Saat gigi apikal menusuk predator, bersamaan rayap akan mengeluarkan cairan defensif berwarna putih melalui lubang fontanel atau *hyaline tip* (ujung labrum) atau rostrum yang akan menembus luka predator sehingga, meningkatkan efektivitas mandibula sebagai senjata. Kemampuan *autothysis* melibatkan penghancuran individu sebagai pilihan terakhir dan ekstrem serta tidak seluruh jenis rayap dapat melakukan kemampuan tersebut. Jadi, kelenjar frontal dan kelenjar *cibarial* menghasilkan cairan defensif untuk pertahanan langsung dan berkelanjutan, sedangkan kelenjar saliva untuk kemampuan *autothysis* dan individu prajurit akan mati (Prestwitch, 1984).

3. Perbandingan Mandibula Rayap Kasta Prajurit Tiap Genus dengan Semut

Adaptasi mandibula pada rayap prajurit dalam fungsi pertahanan secara relevan dapat

dibandingkan dengan mandibula semut prajurit. Polidori (2011) dan Fowler *et al.* (1986) menjelaskan bahwa gigi apikal yang memanjang dan melengkung seperti bulan sabit atau arit pada semut menghasilkan cengkeraman yang kuat pada predator yang mencoba memberontak. Chowdhury & Rastogi (2021) menerangkan bahwa banyaknya gigi mandibula (berkisar 11-13) pada semut dapat memotong tubuh predator yang berukuran besar. Pernyataan tersebut juga berlaku terhadap gigi lateral pada rayap yang digunakan untuk memotong atau mengoyak tubuh predator. Bentuk gigi dan kelengkungan mandibula semut prajurit dapat diindikasikan memiliki tipe yang hampir serupa seperti tipe mandibula pada rayap prajurit.

Hölldobler & Wilson (1990) memaparkan bahwa terdapat empat tipe pertahanan semut prajurit dalam menggunakan mandibula, yaitu *shearing* (pemotong), *piercing* (penusuk), *blocking* (pemblokir), dan *bouncing* (pelontar). Tipe *shearing* (pemotong) dan *piercing* (penusuk) merupakan tipe yang paling relevan dengan tipe mandibula rayap prajurit yang diamati. Seperti yang telah dipaparkan oleh Hölldobler (1990), tipe mandibula pemotong

memiliki ciri, yaitu mandibula berbentuk pada umumnya dan berukuran besar. Tipe mandibula penusuk memiliki ciri, yaitu mandibula meruncing mirip bulan sabit atau kait dan hanya ada gigi apikal, selaras dengan mandibula genus *Coptotermes* dan *Microtermes* (gambar 4.3.b). Adapun yang memiliki kedua tipe (penusuk-pemotong), adanya gigi apikal dan gigi lateral dimiliki oleh genus *Odontotermes*, *Microtermes* (gambar 4.3.a dan gambar 4.3.c), *Macrotermes* mayor dan minor, serta *Schedorhinotermes*.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Adanya variasi morfometrik (analisis linear dan analisis geometrik) mandibula pada rayap kasta prajurit antar genus, diantaranya:
 - a. Genus *Macrotermes* mayor memiliki rentang ukuran panjang mandibula terpanjang (1,544-1,663 mm), nilai *mean* tertinggi (1,595 mm), dan standar deviasi tertinggi (0,061 mm).
 - b. PC1 (62,944%) dan PC2 (22,507%), total kumulatif varian data kedua komponen (85,451%). *Convidential ellips* genus *Coptotermes*, *Microtermes*, dan *Macrotermes* minor menunjukkan bentuk mandibula yang mirip.
 - c. Data bentuk mandibula dinyatakan kurang signifikan karena jumlah data yang kurang memenuhi syarat.
2. Tipe-tipe mandibula rayap kasta prajurit tiap genus yang diamati, diantaranya:
 - a. Genus *Coptotermes*: penusuk-penebas (*piercing-slashing*)
 - b. Genus *Odontotermes*: gigitan-penebas (*biting-slashing*)

- c. Genus *Microtermes*: penusuk-pengait (*piercing-latching*)
 - d. Genus *Macrotermes* mayor dan minor: gigitan-penebas (*biting-slashing*)
 - e. Genus *Schedorhinotermes*: gigitan-pengoyak (*biting-tearing*)
3. Mandibula rayap kasta prajurit yang diamati mirip semut dengan struktur gigi apikal melengkung untuk mencengkeram predator, gigi lateral untuk memotong atau mengoyak, dan memiliki fungsi yang sama sebagai alat pertahanan.

B. SARAN

Beberapa saran guna mengembangkan penelitian ini meliputi:

1. Spesimen rayap prajurit yang mewakili tiap genus harus berjumlah lebih banyak guna mengetahui seberapa signifikan variasi bentuk mandibula rayap kasta prajurit dan dapat melakukan uji signifikansi.
2. Penelitian lebih lanjut pada bentuk morfologi tubuh rayap, kasta rayap, dan genus yang berbeda dan bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, T., Bignell, D. E., & Higashi, M. (Eds.). (2000). *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Springer Science & Business Media.
- Aflah, U. N., Subekti, N., & Susanti, R. S. R. (2021). Pengendalian Rayap Tanah *Coptotermes curvignathus* Holmgren Menggunakan Ekstrak Daun *Avicennia marina*. *Life Science*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.15294/lifesci.v10i1.47164>
- Ahmad, M. (1958). Key to the Indomalayan Termites. *Biologia*, 4, 1-198.
- Anjelia, V., Rizki, A., Jauharlina, J., Sutekad, D., Yasmin, Y., Dharma, W., ... & Syaekani, S. (2024). Investigation of termite attack, *Macrotermes gilvus* Hagen (Termitidae: Blattodea), to cocoa (*Theobroma cacao*). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1297, No. 1, p. 012047). IOP Publishing.
- Arif, A., Taskirawati, I., & Affandi, . (2010). Morphometric Analysis of *Coptotermes* sp. Population From Two Different Nests . *PERENNIAL*, 6(2), 60-69. <https://doi.org/10.24259/perennial.v6i2.199>.
- Arif, A., & Nurdianty, I. (2015). Morfometrik dan Karakteristik Serangan *Coptotermes* sp. pada Gedung Pemerintahan di Kabupaten Bantaeng, Sulawesi Selatan. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi* (Vol. 1, No. 1). <https://doi.org/10.24252/psb.v1i1.2133>.
- Arif, A., Muin, M., Larekeng, S. H., & Lestari, P. I. (2019). Survey and Morphological Identification of Termites (Insecta: Isoptera) in Teaching Forest of Hasanuddin

University, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 270, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.

Arif, A., Putri, G., Lestari, P. I., Widawati, W., Nurqalbi, M., & Saira, A. (2020). Keragaman Rayap *Rhinotermitidae* (Isoptera, Insekta) di Hutan Pendidikan Universitas Hasanuddin: Diversity of *Rhinotermitidae* (Isoptera, Insecta) on Education Forest of Hasanuddin University. *PERENNIAL*, 16(2), 59-67

Arinana, A., Ardiansyah, F., Andika, R., Tarmadi, D., & Satimo, S. (2025). Identification of subterranean termites and their attack characteristics on settlements in Jakarta Province, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 26(1).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d260103>.

Ashraf, A., Qureshi, N. A., Qadeer, S., Azam, A. R., & Ullah, S. (2022). Morphometric Analysis of Soldier Cast of *Odontotermes obesus* (Rambur) and *Microtermes obesi* (Holmgren) (Blattodea: Termitidae; Macrotermitinae) from Three Localities of Potohar Region, Pakistan. *Abasyn Journal of Life Sciences*, 5(1), 153-176.

Blanke, A., Watson, P. J., Holbrey, R., & Fagan, M. J. (2017). Computational Biomechanics Changes our View on Insect Head Evolution. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1848), 20162412.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2412>.

Borror, D. J., Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (1996). Pengenalan Pelajaran Serangga Ed. ke-6. *Yogyakarta: Gadjah Mada Univ Pr.*

- Cancello, E. M., Silva, R. R., Vasconcellos, A., Reis, Y. T., & Oliveira, L. M. (2014). Latitudinal Variation in Termite Species Richness and Abundance Along the Brazilian Atlantic Forest Hotspot. *Biotropica*, 46(4), 441-450. <https://doi.org/10.1111/btp.12120>.
- Cardini, A. (2024). A Practical, Step-by-step, Guide to Taxonomic Comparisons using Procrustes Geometric Morphometrics and user-friendly Software (part A): Introduction and Preliminary Analyses. *European journal of taxonomy*, 934, 1-92. <https://dx.doi.org/10.5852/ejt.2024.934.2527>.
- Cerdá, X., Dejean, A., & Polidori, C. (2011). Predation in the Hymenoptera: an evolutionary perspective. *Washington (DC, USA): National Academy of Sciences (US)*.
- Chouvenc, T., & Foley IV, J. R. (2018). *Coptotermes gestroi* (Wasmann)(Blattodea [Isoptera]: Rhinotermitidae), a threat to the southeastern Florida urban tree canopy. *Florida Entomologist*, 101(1), 79-90.
- Chowdhury, R., & Rastogi, N. (2021). Comparative analysis of mandible morphology in four ant species with different foraging and nesting habits. *bioRxiv*, 2021-08. <https://doi.org/10.1101/2021.08.26.457866>.
- Cooke, S. B., & Terhune, C. E. (2015). Form, function, and geometric morphometrics. *The Anatomical Record*, 298(1), 5-28. <https://doi.org/10.1002/ar.23065>.
- Davies, A. B., Eggleton, P., van Rensburg, B. J., & Parr, C. L. (2015). Seasonal Activity Patterns of African Savanna Termites Vary Across a Rainfall Gradient. *Insectes*

- Sociaux*, 62, 157-165.
<https://doi.org/10.1007/s00040-014-0386-y>
- Deligne, J. E. A. N., Quennedey, A. N. D. R. E., & Blum, M. S. (1981). The Enemies and Defense Mechanisms of Termites. *Social insects*, 1-76.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-342202-6.50008-3>.
- Diba, F., Toni, I., & Irianto, M. Y. (2016). Field Evaluation of Hexaflumuron Bait for Colony Elimination of the Subterranean Termite *Coptotermes curvignathus* Holmgren in Oil Palm Plantation in West Kalimantan Indonesia. *Proceeding 11th Pacific Rim Termites Research Group*, 18-19.
- Eggleton, P. (2010). An Introduction to Termites: Biology, Taxonomy and Functional Morphology. In: Bignell, D., Roisin, Y., Lo, N. (eds) *Biology of Termites: a Modern Synthesis*. Springer, Dordrecht.
https://doi.org/10.1007/978-90-481-3977-4_1.
- Haneda, N. F., & Firmansyah, A. (2012). Termite biodiversity in Gunung Walat Education Forest, Sukabumi. *Journal of Tropical Silviculture*, 3(2).
<https://doi.org/10.29244/j-siltrop.3.2.%25p>.
- Harish R. (2020). Diversity and Morphometric Study of Termites in Mid-hills of Meghalaya. [Thesis]. Central Agricultural University, Imphal, Meghalaya India.
- Heriza, S., Buchori, D., Harahap, I. S., & Maryana, N. (2024). Diversity and composition of termites in several types of land use. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 46(3), 602-610.
<https://doi.org/10.17503/agrivita.v46i3.4277>

- Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1990). *The Ants*. Harvard University Press.
- Ibn Katsir. (2004). *Tafsir Ibn Katsir: Jilid 6*. Terj M. Abdul Ghoffar E.M. & Abu Ihsan al-Atsari. Pustaka Imam asy-Syafi'i. (Karya asli diterbitkan 1994 oleh Mu-assasah Daar al-Hilaal Kairo).
- Indrayani, Y., Takematsu, Y., & Yoshimura, T. (2017). Diversity and distribution of termites in buildings in Pontianak, West Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 18(3), 954-957. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d180312>.
- Inward, D., Beccaloni, G., & Eggleton, P. (2007). Death of an Order: a Comprehensive Molecular Phylogenetic Study Confirms that Termites are Eusocial Cockroaches. *Biology letters*, 3(3), 331-335.
- Ismail, W. N. W., Hazali, R., Desa, N. I. M., Jamil, N., & Sazali, S. N. (2020). Morphometric Analysis of *Nasutitermes* (Termitidae: Nasutitermitinae) from Sarawak, Malaysian Borneo. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2007.0102>.
- Jamil, N., Ismail, W. N. W., & Veera Singham, G. (2018). Morphometric Variation and Genetic Relationship of *Coptotermes* spp. (Blattodea: Rhinotermitidae) in Sarawak, Malaysia. *Malaysian Applied Biology*, 47(6).
- Khorasani, M. M., & Arjmandi, N. (2022). Highly-curved Iranian swords: structural properties and specifications. *Gladius*, 42(7), 111-121. <https://doi.org/10.3989/gladius.2022.07>.

- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: An Integrated Software Package for Geometric Morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 353-357.
- Koshikawa, S., Matsumoto, T., & Miura, T. (2002). Morphometric Changes During Soldier Differentiation of the Damp-Wood Termite *Hodotermopsis japonica* (Isoptera, Termopsidae). *Insectes Sociaux*, 49, 245-250. <https://doi.org/10.1007/s00040-002-8309-8>.
- Krishna, K., Grimaldi, D. A., Krishna, V., & Engel, M. S. (2013). Treatise on the Isoptera of the World. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 377. <https://doi.org/10.1206/377.1>
- Lee, S. H., & Park, C. M. (2023). Exploring the Effects of High Curvature Section Distribution and Density in Termite Tunnels on Food Transport Efficiency: A Simulation Study. *Biosystems*, 231, 104985. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2023.104985>
- Li, Y., Dong, Z. Y., Pan, D. Z., Pan, C. H., & Chen, L. H. (2017). Effects of Termites on Soil pH and Its Application for Termite Control in Zhejiang Province, China. *Sociobiology*, 64(3), 317-326. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v64i3.1674>
- Manacorda, C. A., & Asurmendi, S. (2018). Arabidopsis phenotyping through geometric morphometrics. *GigaScience*, 7(7), giy073. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giy073>
- Manoppo, J. S. S., Putra, R. E., Dungani, R., & Ahmad, I. (2024). The Diversity and Distribution of Residential Termites in the Minahasa Raya Region, North Sulawesi Province, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological*

Diversity, 25(1).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d250105>.

Martius, C., Bandeira, A. G., & Silva Medeiros, L. D. (1996). Variation in Termite Alate Swarming in Rain Forests of Central Amazonia. *Ecotropica*, 2(1): 1-11.

Muin, M., & Arif, A. (2019). Karakteristik Struktur dan Sifat Kimia Produk Biogenik Rayap *Schedorhinotermes* spp. dari Campuran Limbah Pengolahan Tahu, *Perennial*, 15 (2), 83-86.

Parés-Casanova, P. M., Salamanca-Carreño, A., Crosby-Granados, R. A., & Bentez-Molano, J. (2020). A Comparison of Traditional and Geometric Morphometric Techniques for the Study of Basicranial Morphology in Horses: A Case Study of the Araucanian Horse from Colombia. *Animals*, 10(1), 118.
<https://doi.org/10.3390/ani10010118>.

Paul, B., Khan, M. A., Paul, S., Shankarganesh, K., & Chakravorty, S. (2018). Termites and Indian Agriculture. *Termites and Sustainable Management: Volume 2-Economic Losses and Management*, 51-96.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-68726-1_3.

Pie, M. R., Carrijo, T. F., & Caron, F. S. (2021). The Diversification of Termites: Inferences from a Complete Species-level Phylogeny. *Zoologica Scripta*, 50(6), 769-779. <https://doi.org/10.1111/zsc.12502>.

Polly, P. D., Stayton, C. T., Dumont, E. R., Pierce, S. E., Rayfield, E. J., & Angielczyk, K. D. (2016). Combining Geometric Morphometrics and Finite Element Analysis with Evolutionary Modeling: Towards a Synthesis. *Journal*

of *Vertebrate Paleontology*, 36(4), e1111225.
<http://dx.doi.org/10.1080/02724634.2016.1111225>

Prastyaningsih, S. R., Hardiwinoto, S., Musyafa M., & Koranto, C. A. D. (2020). Diversity of Termites (Isoptera) on Industrial Forest Plantation of *Eucalyptus pellita* Stands of Tropical Ecosystem in Riau, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(11).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d211158>.

Prestwich, G. D. (1984). Defense Mechanisms of Termites. *Annual Review of Entomology*, 29, 201-232.
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.29.010184.001221>

Quennedey, A. (1978). *Les glandes exocrines des Termites: ultrastructure comparée des glandes sternales et frontales* (Doctoral dissertation, Université de Dijon).

Quennedey, A. 1983. Morphology and Termite Defense 231 ultrastructure of termite defense glands. In *Defensive Mechanisms of Social Insects*, ed. H. R. Hermann. Boulder, Colo: Westview. In press

Rafli, M. A., Madusari, S., & Soesatrijo, J. (2021). Komparasi Efektivitas Metode Pengendalian Rayap *Macrotermes gilvus* di Perkebunan Kelapa Sawit. *Jurnal Agrosains dan Teknologi*, 5(2), 77-86.
<https://doi.org/10.24853/jat.5.2.77-86>.

Rahman, T., & Janra, M. N. (2022). Identification of Termites (Insecta: Isoptera) from Anthropogenic Area in Universitas Andalas Campus Complex, West Sumatra, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1059, No. 1, p. 012084). IOP Publishing.

- Rohlf, F. J. (2021). Why clusters and other patterns can seem to be found in analyses of high-dimensional data. *Evolutionary Biology*, 48(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11692-020-09518-6>.
- Romiti, F., Redolfi De Zan, L., Piras, P., & Carpaneto, G. M. (2016). Shape Variation of Mandible and Head in *Lucanus cervus* (Coleoptera: Lucanidae): a Comparison of Morphometric Approaches. *Biological Journal of the Linnean Society*, 120(4), 836-851. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blw001>.
- Roonwal, M. L., & Sangal, S. K. (1957). Variability in the Mandibles of Soldiers in the Termites *Odontotermes obesus*.(Rambur)(Isoptera, Family Termitidae). Records of the Zoological Survey of India, 1-22.
- Saikia, F. R., Kalita, P., & Das, D. (2024). Diversity of Termites with Reference to Their Morphometrics in Dakshin Kamrup College Campus, Mirza, Kamrup, Assam. *International Journal of Entomology Research*, 9(4), 98-100.
- Sands, W. A. (1982). Agonistic behavior of African soldierless Apicotermitinae (Isoptera: Termitidae) [*Alyscotermes kilimandjaricus*; Kenya]. *Sociobiology*, 7.
- Scholtz, O. I., Macleod, N., & Eggleton, P. (2008). Termite Soldier Defence Strategies: A Reassessment of Prestwich's Classification and an Examination of the Evolution of Defence Morphology Using Extended Eigenshape Analyses of Head Morphology. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 153(4), 631-650.
- Su, N. Y., & Scheffrahn, R. H. (2000). Termites as Pests of Buildings. *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses*,

Ecology, 437-453. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9_20.

Subekti, N., Widiyaningrum, P., Nurvaizah, I., & Mar'ah, R. I. (2019). Effective Control of Subterranean Termite *Coptotermes curvignathus* Using n-Hexane and Ethyl Acetate From Gaharu (*Aquilaria malaccensis*). *Systematic Reviews in Pharmacy*, 10(2).

Takematsu, Y., & Vongkaluang, C. (2012). A taxonomic review of the Rhinotermitidae (Isoptera) of Thailand. *Journal of Natural History*, 46(17-18), 1079-1109.

Thompson, G. J. (2011). Taxonomic Notes on *Nasutitermes* and *Bulbitermes* (Termitidae, Nasutitermitinae) from the Sunda Region of Southeast Asia Based on Morphological and Molecular Characters. *ZooKeys*, (148), 135.

Triplehorn, C. A., Johnson, N. F., & Borror, D. J. (2005). *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects* (7th ed). Thompson Brooks/Cole.

Weesner, F. M. (1969). External Anatomy. *Biology of Termites*, 1, 19-47.

Wikantyoso, B., Tseng, S. P., Himmi, S. K., Yusuf, S., & Yoshimura, T. (2021). Morphometric Analysis of *Coptotermes* spp. Soldier Caste (Blattodea: Rhinotermitidae) in Indonesia and Evidence of *Coptotermes gestroi* Extreme Head-Capsule Shapes. *Insects*, 12(5), 477. <https://doi.org/10.3390/insects12050477>.

Wikantyoso, B., Fajar, A., Tarmadi, D., Himmi, S. K., & Yusuf, S. (2024). The Morphological Diagnosis of 2 Economically Important Subterranean Termites in

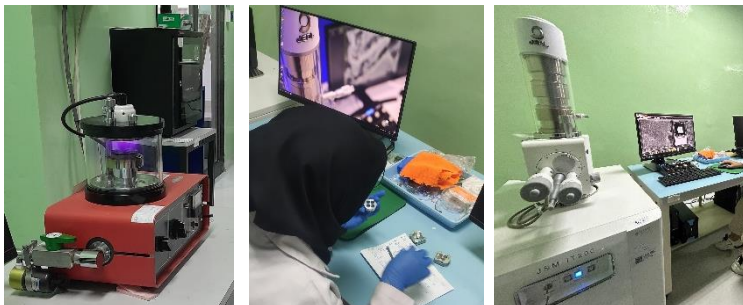
- Western Indonesia, *Coptotermes curvignathus* and *Coptotermes gestroi* (Blattodea, Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 117(5), 2019-2029. <https://doi.org/10.1093/jee/toae147>.
- Yuhara, T.D., Yuliawati, S., dan Ginandjar, P. (2014). Identifikasi Rayap di Bangunan Cagar Budaya Lawang Sewu Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat* 3, 207-213.
- Zachariah, N., Singh, S., Murthy, T. G., & Borges, R. M. (2020). Bi-layered Architecture Facilitates High Strength and Ventilation in Nest Mounds of Fungus-farming Termites. *Scientific reports*, 10(1), 13157. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70058-2>.
- Zaman, M., Khan, I. A., Schmidt, S., Murphy, R., & Poulsen, M. (2022). Morphometrics, distribution, and DNA barcoding: an integrative identification approach to the genus *Odontotermes* (Termitidae: Blattodea) of Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Forests*, 13(5), 674. <https://doi.org/10.3390/f13050674>.
- Zelditch, M., Swiderski, D., & Sheets, H. D. (2012). *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. academic press.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Kegiatan Penelitian



Gambar 1 Proses isolasi mandibula rayap kasta prajurit



Gambar 2. Pengamatan mandibula rayap kasta prajurit dengan menggunakan mikroskop SEM

Lampiran 2. Tabulasi Data Pengukuran

Tabel 1. Pengukuran Morfometrik terhadap Panjang Mandibula Rayap Kasta Prajurit

No.	Genus	Panjang Mandibula
1.	<i>Coptotermes</i> (AC1)	0,784 mm
2.	<i>Coptotermes</i> (AC2)	0,785 mm
3.	<i>Coptotermes</i> (AC3)	0,688 mm
4.	<i>Odontotermes</i> (A01)	0,985 mm
5.	<i>Odontotermes</i> (A02)	1,034 mm
6.	<i>Odontotermes</i> (A03)	1,062 mm
7.	<i>Microtermes</i> (AMI1)	0,590 mm
8.	<i>Microtermes</i> (AMI2)	0,629 mm
9.	<i>Microtermes</i> (AMI3)	0,547 mm
10.	<i>Macrotermes minor</i> (AMAN1)	1,258 mm
11.	<i>Macrotermes minor</i> (AMAN2)	1,194 mm
12.	<i>Macrotermes minor</i> (AMAN3)	1,167 mm
13.	<i>Schedorhinotermes</i> (AS1)	0,788 mm

14.	<i>Macrotermes major</i> (AMAY1)	1,663 mm
15.	<i>Macrotermes major</i> (AMAY2)	1,544 mm
16.	<i>Macrotermes major</i> (AMAY3)	1,577 mm

Lampiran 3. Cek Turnitin


Page 2 of 125 - Integrity Overview
Submission ID trnolic::13220486033

11% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 4%  Publications
- 5%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithm looks deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we recommend you focus your attention there for further review.

Lampiran 4. Daftar Riwayat Hidup

RIWAYAT HIDUP**A. Identitas Diri**

Nama : Alya Alifia Syabani
Tempat,
Tanggal lahir : Tegal, 03 November 2002
Alamat : Bekasi, Jawa Barat
Hp : 085693193901
E-mail : alyaalifiasyabani@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. TK Islam Nurul Anwar (2008-2009)
2. SDN Padurenan 2 (2009-2015)
3. SMPIT At-Taqwa Narogong (2015-2018)
4. SMAN 6 Tambun Selatan (2018-2021)
5. UIN Walisongo Semarang

C. Pengalaman

1. Magang Pusat Riset Oseanografi BRIN-Jakarta