
KANDUNGAN BAHAN ORGANIK PADA SARANG RAYAP *Macrotermes gilvus* HAGEN
DALAM MAMAR DI AMARASI BARAT

Dina Tiara Kusumawardhani^{1*}, Origenes Boy Kapitan²

¹Jurusan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Kupang

²Jurusan Tanaman Pangan dan Hortikultura, Politeknik Pertanian Negeri Kupang

*e-mail: kusumawardhani.dt@gmail.com

ABSTRAK

Mamar merupakan sistem agroforestri yang ditujukan untuk menjaga mata air dan pemanfaatan secara lestari, yang tersusun oleh tanaman berkayu dan non kayu. Komposisi tumbuhan mamar tersebut membuat banyak sekali bahan-bahan organik yang perlu untuk diuraikan. Salah satu serangga yang berperan sebagai dekomposer adalah rayap tanah. Guna mempelajari keberadaan rayap tanah terhadap karakteristik kimia tanah sarang rayap pada kondisi tropis semi arid, penelitian ini perlu dilakukan. Desa Soba, Amarasi Barat menjadi lokasi sarang yang dipilih untuk mengobservasi sarang rayap, mengumpulkan spesimen rayap, mengidentifikasi spesies rayap, serta melakukan analisis kimia tanah pada sarang rayap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sarang rayap yang ditemukan tersebar di dalam mamar sebanyak 4 sarang di bawah naungan dan sekitar tumbuhan yang berbeda. Spesies rayap tanah yang ditemukan dalam sarang tersebut adalah *Macrotermes gilvus* Hagen. Adapun parameter karakteristik kimia tanah pada sarang rayap menunjukkan nilai pH 6.63 – 7.39 (netral), kandungan C-organik 1.59 – 3.54 % (rendah sampai tinggi), nilai bahan organik 2.72 – 6.10 %, dan nilai N total 0.18 – 0.30 % (rendah hingga sedang). Kandungan bahan organik tanah pada sarang rayap ditemukan lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang tidak terdapat aktivitas rayap.

Kata kunci : dekomposer, isoptera, *Macrotermes gilvus*, mamar, sifat kimia tanah.

PENDAHULUAN

Pulau Timor di Nusa Tenggara Timur terkenal dengan sistem agroforestri yang disebut mamar. Sistem agroforestri ini telah lama diterapkan oleh masyarakat dengan tujuan menjaga mata air sekaligus memanfaatkan secara lestari pada iklim tropis semi arid yang ditandai dengan musim panas yang lebih panjang daripada musim hujan. Diketahui musim panas berlangsung pada bulan Mei hingga bulan Desember, dan musim hujan berlangsung dari bulan Desember hingga bulan April (Njurumana et al., 2008). Terdapat 112 spesies tanaman dan tumbuhan yang ada di dalam mamar, terdiri dari 33 spesies (29 %) untuk tingkat semai dan pancang serta 79 spesies (71 %) untuk tumbuhan tingkat atas dengan kategori mulai dari tingkat tiang hingga tingkat pohon. Tumbuhan bagian atas terdiri dari 20 spesies (25 %) merupakan tumbuhan yang menghasilkan buah dan 59 spesies (75 %) merupakan tumbuhan berkayu (Njurumana, 2009). Komposisi tumbuhan mamar tersebut membuat banyak sekali bahan-bahan organik yang perlu untuk diuraikan. Salah satu serangga yang berperan sebagai dekomposer adalah rayap tanah.

Rayap tanah atau “semut putih” telah diketahui berperan aktif dalam ekosistem sebagai dekomposer dengan menguraikan bahan-bahan organik, proses pembentukan dan pelapukan tanah, mengatur sifat dan hidrolis tanah, siklus hara dan kimia tanah, serta mengatur pertumbuhan dan keanekaragaman vegetasi dalam ekosistem (Habibi et al., 2017; Jouquet et al., 2011; Robert et al., 2007). Oleh karena itu, tidak jarang keberadaan rayap sering kali ditemukan di dalam mamar, bahkan hingga pemukiman di sekitar mamar tersebut. Keberadaan rayap dapat ditandai dengan jejak yang ditinggalkan dari serangan pada pohon dan liang kembara yang menuju sarang. Karakteristik bentuk

sarang rayap di antaranya muncul ke permukaan tanah (*epigeal*), jauh di atas permukaan tanah (*arboreal*), di dalam kayu, atau di dalam tanah (*hypogeal*) (Bignell dan Eggleton, 2000). Rayap tanah terutama spesies *Macrotermes gilvus* Hagen dilaporkan membuat sarang *epigeal* dengan bahan tanah, sisa tumbuhan yang telah dicerna, dan saliva yang memiliki aktivitas *amylase* sebesar 10.03 unit/mL yang pada setiap unitnya membebaskan maltosa dalam waktu 5 menit, pada suhu 37 °C dan pH 5.7 (Subekti, 2012; Subekti dan Yoshimura 2009).

Sarang yang terbuat dari campuran bahan-bahan tersebut dan kebiasaan rayap dalam mengelola rotasi bahan organik dalam tanah membuat sarang tersebut mengandung bahan-bahan organik berkadar tinggi yang terindikasi dapat meningkatkan kesuburan dan kesehatan tanah. Beberapa penelitian terdahulu telah melaporkan terdapat perbedaan sifat fisik dan kimia antara sarang rayap dengan tanah sekitarnya (Santhoshkumar et al., 2024; de Lima et al., 2018; Dhembare, 2013; Oliveira et al., 2011). Seperti sarang *epigeal* yang ditemukan pada rumput Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ) Brazil dilaporkan memiliki perbedaan jumlah bahan organik dan fraksi mineral (*mineral-associated organic carbon* - MOC) yang bervariasi di antara spesies rayap pembangun dan berbeda nyata dengan tanah di sekitarnya (de Lima et al., 2018). Di Indonesia, kandungan bahan organik dan akumulasi mineral pada bangunan sarang rayap tanah *M. gilvus* di Bogor dengan kondisi iklim tropis basah telah dilaporkan (Subekti, 2012). Sementara itu pada daerah dengan iklim tropis semi arid di Indonesia, persebaran rayap tanah bahkan belum pernah dilaporkan (Kusumawardhani dan Almulqu, 2024). Oleh karena itu, penelitian tentang persebaran rayap dan karakteristik kimia tanah sarang rayap *M. gilvus* khususnya dalam mamar di Pulau Timor yang beriklim tropis semi arid perlu dilakukan. Informasi tersebut sangat penting sebagai landasan ilmiah bagi evaluasi perubahan yang dibuat oleh rayap dan pemanfaatan sarang rayap di masa datang.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah botol koleksi, bor tanah, kuas, linggis, pinset, plastik zip, roll meter, kamera digital, *Global Positioning System* (GPS), mikroskop digital, *light meter*, dan *hygrometer*. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian adalah alcohol 70 %, aquades, aluminium foil, dan spesimen rayap kasta prajurit.

Prosedur Kerja

1) Survei lokasi

Penelitian karakteristik kimia tanah pada sarang rayap *M. gilvus* dilaksanakan di mamar wilayah Desa Soba, Kecamatan Amarasi Barat, Kabupaten Kupang. Sarang yang telah ditemukan, ditandai dengan menggunakan GPS. Kemudian sarang tersebut diukur dimensi dan diambil spesimen rayap kasta prajurit yang ditemui.

2) Pengumpulan spesimen rayap

Spesimen rayap diperoleh dari sarang rayap yang ditemukan, dan bagian bangunan yang mengalami serangan rayap. Spesimen rayap kasta prajurit yang ditemukan pada masing-masing lokasi dimasukkan ke dalam botol koleksi yang telah diberi alkohol 70 % secara terpisah. Tiap botol koleksi diberi label yang ditulis lokasi ditemukannya rayap.

3) Identifikasi spesies rayap

Setiap spesimen rayap (kasta prajurit) dari masing-masing lokasi contoh diidentifikasi dengan menggunakan kunci pengenalan spesies rayap (Robert et al., 2007). Selain itu dilakukan juga pengamatan morfologi dan morfometri spesimen rayap dari tiap lokasi contoh. Pengamatan morfologi dilakukan terhadap semua bagian tubuh rayap yang mencakup bentuk, warna, dan karakteristik lain yang terdapat pada bagian tubuh rayap. Data morfometri diperoleh dengan melakukan pengukuran tiga kali pada tiap spesimen rayap dari botol koleksi yang sama. Pengamatan dan foto-foto spesimen dibuat menggunakan mikroskop digital.

Data morfometri dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui kecenderungan rata-rata dan kisaran dari masing-masing spesimen rayap yang ditemukan. Adapun analisis data untuk menentukan hubungan antara morfologi dan morfometri terhadap spesimen rayap yang dikumpulkan dilakukan dengan menggunakan *software* ImageJ.

4) Karakteristik kimia tanah

Sampel tanah diambil pada kedalaman 0 – 20 cm dari permukaan tanah pada bagian basal sarang rayap, dan pada tanah yang tidak teridentifikasi ada kegiatan rayap. Pengujian yang dilakukan adalah sifat kimia tanah yang terdiri atas kadar C-organik (metode spektrofotometri), kadar N-total (metode Kjeldahl), dan pH tanah (*soil* pH meter).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persebaran dan Karakteristik Sarang

Sarang rayap yang ditemukan tersebar di dalam mamar sebanyak 4 sarang. Setiap sarang berada di bawah naungan dan sekitar tumbuhan yang berbeda. Tumbuhan yang teridentifikasi di sekitar sarang adalah kirinyu (*Chromolaena odorata*), gmelina (*Gmelina arborea*), asam jawa (*Tamarindus indica* L.), kemiri (*Aleurites moluccana*), flamboyan (*Delonix regia*), lamtoro (*Leucaena leucocephala*), kapuk (*Ceiba pentandra*), jati (*Tectona grandis*), gamal (*Gliricidia sepium*), jambu biji (*Psidium guajava*), johar (*Cassia siamea*), mahoni (*Swietenia mahagoni*), kelapa (*Cocos nucifera*), pisang (*Musa paradica*), mangga (*Mangifera indica*), dan alpukat (*Persea americana*). Keadaan permukaan sarang rayap saat ditemukan tidak terlalu banyak ditutupi serasah maupun tumbuhan (Gambar 1). Hal ini sangat umum dijumpai pada sarang rayap dan sesuai dengan pernyataan Inoue et al. (1997).



Gambar 1. Sarang rayap tanah yang ditemukan di dalam mamar

Sarang yang ditemukan adalah sarang yang muncul ke permukaan tanah (*epigeal*) berbentuk bukit kecil (*mound*). Sarang terkecil memiliki diameter terpendek sarang 70 cm dan diameter terpanjang 80 cm sehingga diameter rata-rata sarang 75 cm dengan volume sarang 0.09 m³ dan area basal 0.44 m². Sedangkan sarang terbesar memiliki diameter terpendek 327 cm dan diameter terpanjang mencapai 365 cm sehingga diameter rata-rata sarang tersebut 346 cm dengan volume 4.48 m³ dan area basal 9.40 m². Tinggi sarang rayap cukup bervariasi mulai dari 48 cm hingga 143 cm. Ukuran tinggi sarang rayap yang ditemukan tidak mengikuti besar atau kecil ukuran diameter sarang rayap. Tinggi dari sarang rayap berkorelasi secara signifikan dengan jumlah rayap atau ukuran koloni dalam sarang (Qinglin et al., 2017; Meyer et al., 2010). Rayap tanah yang memiliki sarang berbentuk bukit kecil termasuk rayap subfamili kelas atas dengan struktur sosial yang maju, dan sarang berisi jaringan terowongan yang kompleks untuk melindungi koloni rayap dari pengaruh lingkungan luar yang ekstrem (Kusumawardhani et al., 2021).

Spesies Rayap

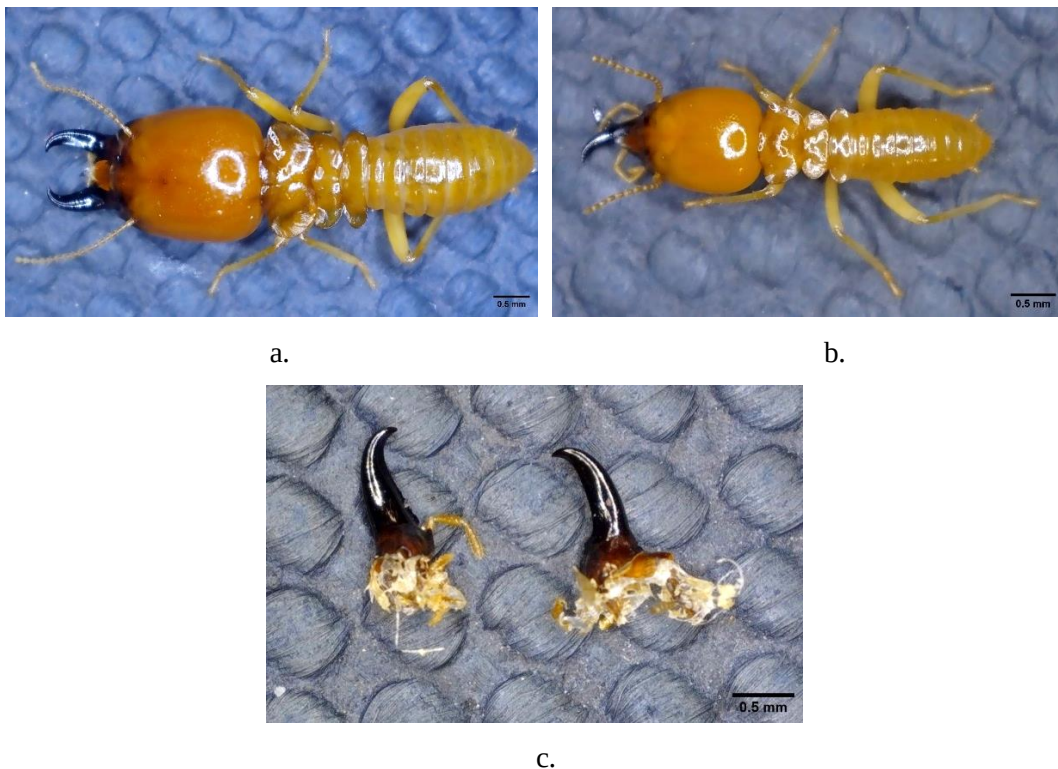
Hasil identifikasi menggunakan Kunci Identifikasi Rayap dari Tho (1992) dan Ahmad (1958) menunjukkan bahwa spesies rayap tanah yang ditemukan di beberapa sarang dalam mamar dan pemukiman masyarakat sekitar mamar adalah *M. gilvus*. Adapun ciri-ciri morfologisnya pada Kunci Identifikasi Rayap adalah sebagai berikut:

- 1) Prajurit terbagi atas dua tipe yaitu kasta prajurit mayor dan prajurit minor (dimorfisme) dengan ukuran prajurit mayor lebih besar dibandingkan prajurit minor.
- 2) Mandibel memanjang ke depan, agak simetris.
- 3) Ukuran seluruh tubuhnya besar. Ukuran prajurit mayor 7.11 – 11.03 mm, prajurit minor 4.46 – 6.89 mm.

- 4) Warna kepala prajurit coklat merah. Rata-rata panjang kepala termasuk mandibel prajurit mayor 4.41 mm, prajurit minor 2.89 mm; rata-rata lebar kepala prajurit mayor 2.80 mm, dan prajurit minor 1.56 mm.
- 5) Jumlah ruas antenna 17 dengan ruas ketiga panjangnya satu setengah kali panjang ruas kedua dan sedikit lebih panjang dari ruas keempat.

Sementara itu, rayap yang ditemukan memiliki ciri-ciri (Gambar 2):

- 1) Dimorfis, dengan jumlah rayap kasta prajurit mayor yang diamati sejumlah 100 ekor, dan prajurit minor sejumlah 100 ekor
- 2) Mandibel simetris memanjang ke depan berbentuk seperti arit tebal.
- 3) Ukuran seluruh tubuh prajurit mayor mencapai 8.98 ± 0.94 mm, sedangkan pada prajurit minor 5.10 ± 1.12 mm.
- 4) Kepala berwarna coklat gelap kemerahan. Rata-rata panjang kepala termasuk mandibel prajurit mayor 4.48 ± 0.48 mm, prajurit minor 2.71 ± 0.54 mm; rata-rata lebar kepala prajurit mayor 2.22 ± 0.28 mm, dan prajurit minor 1.17 ± 0.30 mm.
- 5) Jumlah ruas antenna 15 – 17 ruas.



Gambar 2. Morfologi seluruh tubuh rayap tanah *M. gilvus* kasta prajurit mayor (a), prajurit minor (b), dan mandibel (c)

Kimia Tanah pada Sarang Rayap

Rayap tanah terutama *M. gilvus* memiliki peran sebagai dekomposer bahan-bahan organik yang dapat memengaruhi dan memodifikasi komposisi mineral tanah. Lee and Wood (1971) menyatakan bahwa dalam tanah yang terdapat aktivitas rayap memiliki kandungan bahan organik yang lebih tinggi dan rayap tanah menyukai tanah yang banyak mengandung liat. Oleh karena itu, dilakukan beberapa parameter uji sifat kimia tanah pada sarang rayap yang ditemukan serta pada tanah yang tidak ditemukan kegiatan rayap (Tabel 1).

Tabel 1. Sifat kimia tanah pada beberapa titik sarang rayap yang ditemukan

Kode	pH	C-organik (%)	Bahan organik (%)	N total (%)	C/N Ratio
2a	6.52	3.14	5.41	0.30	10.47
2b	6.26	2.67	4.60	0.24	11.13
4a	7.39	1.59	2.74	0.18	8.83
4b	7.31	0.88	1.52	0.09	9.78
7a	7.35	2.14	3.69	0.24	8.92
7b	6.03	1.65	2.84	0.18	9.17
8a	6.63	3.54	6.10	0.23	15.39
8b	3.25	1.69	2.91	0.21	8.05

*a= sarang rayap; b= tanah tanpa aktivitas rayap

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap parameter sifat kimia tanah pada sarang rayap memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah sekitarnya yang tidak ditemukan kegiatan rayap di dalamnya. Nilai pH pada sarang rayap berkisar antara 6.63 – 7.39 yang termasuk kategori netral, sementara pada tanah biasa berkisar antara 3.25 – 7.31 (sangat asam sampai netral). Arinana et al. (2016) menyatakan bahwa pH tanah di Jakarta yang terdapat aktivitas rayap termasuk pada pH netral yang berada pada rentang 6.36 – 7.30. Pada daerah pemukiman di Bogor, pH tanah berada pada rentang 5.08 – 8.29 (Arinana et al., 2023). Kemudian pada kota dan perkebunan sawit di Jambi memiliki pH tanah 6.4 – 6.9 (Johari et al., 2020). Dengan perkataan lain, aktivitas rayap tanah dapat memengaruhi pH tanah pada berbagai kondisi menjadi cenderung netral sebagai bentuk adaptasi agar kondisi lingkungan sesuai untuk dapat ditinggali dan melakukan aktivitas lainnya. Sementara itu, Kaschuk et al. (2006) mengungkapkan bahwa rayap mampu untuk hidup pada pH yang asam dengan kisaran 4.23 – 5.46. Kenaikan pH terutama pada sarang *Macrotermes* spp. sering diasosiasikan dengan akumulasi kalsium karbonat. Akumulasi kalsium karbonat terjadi secara pedologis, bukan secara biologis. Pada tanah yang cukup keras dengan drainase yang buruk di mana sering terjadi genangan air, memungkinkan akumulasi kalsium karbonat yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang mampu menyerap air dengan baik. Sehingga, dengan aktivitas rayap yang mampu mengubah kondisi dalam sarang serta tanah yang telah terakumulasi kalsium karbonat karena tanah yang keras, landai, dan sering tergenang, maka perubahan pH tanah dalam sarang lebih cepat terjadi.

Sementara itu, bahan organik lebih tinggi pada sarang rayap dibandingkan dengan tanah sekitarnya disebabkan oleh pembentukan sarang rayap yang menggunakan saliva serta feses yang dibentuk hasil cerna jaringan tumbuhan yang tidak sempurna. Pengendapan bahan organik dilakukan oleh rayap pada bagian dalam menuju inti sarang. Semakin mengarah pada inti sarang (*queen chamber*) semakin tinggi kandungan bahan organik yang ditemukan (Lee dan Wood, 1971). White (2006) mengemukakan bahwa C-organik terbanyak berada pada kedalaman 15-20 cm di bawah permukaan tanah. Namun, kandungan C-organik pada sarang rayap yang ditemukan berkisar antara 1.59 – 3.54 % tergolong rendah hingga tinggi. Arinana et al. (2016) melaporkan bahwa kadar C-organik pada tanah yang terdapat aktivitas rayap di Jakarta berkisar antara 5.44 – 9.55 %, sementara di Bogor berkisar antara 2.68 – 4.09 % (Arinana et al., 2023). Pada spesies *Reticulitermes flavipes*, kandungan C-organik dalam tanah yang didapatkan dari hasil mencerna/mengurai bahan berselulosa hanya mampu diendapkan sebanyak 40 %, sementara 42 % dikeluarkan dalam bentuk gas, dan 18 % lainnya di dalam saluran pencernaan tubuh rayap itu sendiri (Myer et al., 2021).

Kadar nitrogen berbanding lurus dengan banyaknya bahan organik yang terdapat pada tanah, namun proporsinya tidak sebanyak C-organik. Lee dan Wood (1971) menyebutkan bahwa jaringan tumbuhan, humus, kotoran, dan makanan lainnya hanya mengandung sedikit nitrogen, sementara kadar nitrogen tertinggi didapatkan dari hasil cerna jamur yang tumbuh pada makanan rayap tersebut. Terdapat pula sistem rotasi nitrogen yang dipertahankan oleh rayap yaitu dengan memanfaatkan perilaku kanibal rayap yang memakan sesama rayap yang mati, terluka, serta anggota kasta yang dianggap berlebih. Dengan kadar C-organik dan nitrogen yang terdapat pada rayap, sering kali sarang rayap digunakan oleh petani sebagai pupuk pada tahap awal pengolahan lahan pertanian.

KESIMPULAN

Sarang rayap yang ditemukan di lokasi penelitian sebanyak 4 sarang yang tersebar di bawah naungan tumbuhan yang berbeda-beda. Spesies rayap tanah yang ditemukan dalam sarang tersebut adalah *Macrotermes gilvus* Hagen. Karakteristik kimia tanah pada sarang rayap menunjukkan nilai pH 6.63 – 7.39 (netral), kandungan C-organik sebesar 1.59 – 3.54 % (rendah sampai tinggi), nilai bahan organik 2.72 – 6.10 %, dan nilai N total 0.18 – 0.30 % (rendah hingga sedang). Kandungan bahan organik pada sarang rayap ditemukan lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang tidak terdapat aktivitas rayap.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. (1965). Termites (Isoptera) of Thailand. Bulletin of the American Museum of Natural History, 131(1), 3-113.
- Arinana, Aldina, R., Nandika, D., Rauf, A., Harahap, I. S., Sumertajaya, I. M., & Bahtiar, E. T. (2016). Termite diversity in urban landscape, South Jakarta, Indonesia. *Insect*. 7(20), 1-18. DOI: 10.3390/insects7020020.

- Arinana, Yuwono, M. A., & Priyanto. (2023). Kelas bahaya serangan rayap tanah di Kota Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 21(4), 1009-1020. DOI: 10.14710/jil.21.4.1009-1020.
- Bignell, E. D., & Eggleton, P. (2000). Termites in ecosystems. In: Abe, T., Bignell, E. D., & Higashi, M. (eds) *Termites: Evolution, sociality, Symbioses, ecology*. Dordrecht (NL): Springer.
- De Lima, S. S., Pereira, M. G., Dos Santos, G. L., Pontes, R. D. M., & Diniz, A. R. (2018). Soil physical and chemical properties in epigeal termite mounds in pasture. *Floresta e Ambiente*. 25(1), 1-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.011016>.
- Dhembare, A. J. (2013). Physico-chemical properties of termite mound soil. *Archives of Applied Science Research*. 5(6), 123-126.
- Habibi, Diba, F., & Siahaan, S. (2017). Keanekaragaman jenis rayap di kebun kelapa sawit PT. Bumi Pratama Khatulistiwa kecamatan sungai ambawang kabupaten kubu raya. *Jurnal Hutan Lestari*. 5(2), 481-489.
- Inoue, T., Vijarnsorn, P., & Abe, T. (1997). Mound structure of the fungus-growing termite *Macrotermes gilvus* in Thailand. *Journal of Tropical Ecology*. 13, 115-124.
- Johari, A., Adawia, A. R., Wulandari, T. (2022). Tipe sarang dan sebaran jenis rayap (isoptera) di hutan kota dan perkebunan sawit wilayah Jambi. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*. 15(2), 191-198. DOI: <http://dx.doi.org/10.15408/kauniyah.v15i2.16689>.
- Jouquet, P., Traore, S., Choosai, C., Hartmann, C., & Bignell, D. (2011). Influence of termites on ecosystem functioning. Ecosystem services provided by termites. *Eur J Soil Biol*. 47, 215-222. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2011.05.005.
- Kaschuk, G., Santos, J. C. P., Almeida, J. A., Sinhorati, D. C., & Berton-Junior, J. F. (2006). Termite activity in relation to natural grassland soil attributes. *Scientia Agricola*. 63(6), 583-588. DOI:10.1590/S0103-90162006000600013.
- Kusumawardhani, D. T., & Almulqu, A. A. (2024). A review of termite contributions to sustainable green building. *Al-Hayat: Journal of Biology and Applied Biology*. 7(1), 57-70. DOI: 10.21580/ah.v7i1.20704.
- Kusumawardhani, D. T., Nandika, D., Karlinasari, L., Arinana, & Batubara, I. (2021). Architectural and physical properties of fungus comb from subterranean termite *Macrotermes gilvus* (Isoptera: Termitidae) mound. *Biodiversitas*. 22(4), 1627-1634. DOI: 10.13057/biodiv/d220406.
- Lee, K. E., & Wood, T. G. (1971). *Termites and Soil*. New York (US): Academic Press.
- Meyer, V. M., Crewe, R. M., Braack, L. E. O., Groeneveld, H. T., & Van der Linde, M. J. (2010). Intracolony demography of the mound-building termite *Macrotermes natalensis* (Haviland) (Isoptera, Termitidae) in the northern Kruger National Park, South Africa. *Insectes Sociaux*. 47, 390-397. DOI: 10.1007/pl00001736.
- Myer, A., Myer, M. H., Trettin, C. C., & Forschler, B. T. (2021). The fate of carbon utilized by the subterranean termite *Reticulitermes flavipes*. *Ecosphere*. 12(12), 1-15. DOI: e03872. 10.1002/ecs2.3872
- Nandika, D., Rismayadi, Y., & Diba, F. (2015). *Rayap: Biologi dan Pengendaliannya*, Edisi 2. Surakarta (ID): Muhammadiyah University Press.
- Njurumana, G. N. D. (2009). Pola pengelompokan komunitas mamar di Timor [tesis]. Yogyakarta (ID): Program Pasca Sarjana, Fakultas Kehutanan UGM.

- Njurumana, G. N. D., Victorino, B. A., & Pratiwi. (2008). Potensi pengembangan mamar sebagai model hutan rakyat dalam rehabilitasi lahan kritis di Timor Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi*. V(5), 473-484.
- Oliveira, M. I. L., Brunet, D., Mitja, D., Cardoso, W. S., Benito, N. P., & Guimarães, M. F. (2011). Incidence of epigeal nest-building termites in *Brachiaria pastures* in the Cerrado. *Acta Scientiarum: Agronomy*. 33(1), 181-185. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.7075>.
- Qinglin, K., Lei, Z., Ngandwe, K. M., Jiejie, S., Jianzhong, L., Boby, S., & Alfred, M. S. (2017). Preliminary survey on the termite mounds, their interior geometrics and the termite prevention from infrastructural construction at new site of Ndola International Airport in Zambia. *Journal of Plant and Animal Ecology*. 1(1), 43-57. DOI: 10.14302/issn.2637-6075.jpae-17-1868.
- Robert, O. E., Frank, U. O., & Agbonsalo, O. U. (2007). Influence of activities of termites on some physical and chemical properties of soils under different land use patterns. *Int J of Soil Sci*. 2(1), 1-14. DOI: <https://dx.doi.org/10.3923/ijss.2007.1.14>.
- Santhoshkumar, S., Gomathi, V., Meenakshisundaram, P., & Mary, J. K. (2024). Comparative insights of soil properties of termite hill in relation to the microbial community using culture-independent approach. *Total Environment Advances*. 9, 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.teadva.2023.200094>.
- Subekti, N. (2012). Kandungan bahan organik dan akumulasi mineral tanah pada bangunan sarang rayap tanah *Macrotermes gilvus* Hagen (Blattodea: Termitidae). *Biosantifika*. 4(1), 10-17.
- Subekti, N., & Yoshimura, T. (2009). α - amylase activities of saliva from three subterranean termites: *Macrotermes gilvus* Hagen, *Coptotermes formosanus* Shiraki, and *Retikulitermes speratus* Kolbe. *Japanese Journal of Environmental Entomology and Zoology*. 20(4), 191-199.
- Tho, Y. P. (1992). *Termites of Peninsular Malaysia*. Kuala Lumpur: Forest Research Institute Malaysia, Kepong.
- White, R. E. (2006). *Principles and Practice of Soil Sciences Fourth Edition*. Oxford (GB): Blackwell Publishing.