

BIODIVERSITI FAUNA TANAH RAWA DAN PEMANFAATANNYA

*Eni Mafiu'ah dan Mukhlis
Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa*

RINGKASAN

Fauna tanah dapat berperan penting dalam proses dekomposisi bahan organik, agregasi, ketersediaan dan siklus hara, sehingga dapat memperbaiki sifat fisika, kimia dan biologi tanah yang pada akhirnya dapat meningkatkan produktivitas lahan. Keanekaragaman dan kelimpahan fauna tanah di lahan rawa sangat ditentukan oleh tipologi lahan, jenis tanah dan penggunaan lahan. Keanekaragaman fauna tanah baik di permukaan maupun dalam tanah pada lahan gambut lebih rendah dibandingkan lahan sulfat masam dan lebak. Mesofauna tanah yang dominan di lahan rawa yang telah direklamasi adalah Acarina kemudian disusul oleh Diptera, Hymenoptera, Thymenoptera, Isoptera, Isopoda, Collembola, Acarina dan Diplura, sedangkan makrofauna yang dominan adalah Hymenoptera, Diptera, Araneida, Chilopoda, Diplopoda, Orthoptera, Coleoptera, Oligochaeta, Homoptera, Hemiptera, Scorpions. Fauna tersebut juga banyak ditemui di lahan kering. Di lahan rawa yang telah direklamasi dan kondisi aerob (kering) ditemukan cacing tanah (Oligochaeta). Populasi cacing tanah tertinggi di lahan rawa lebak, kemudian di lahan sulfat masam, namun jarang sekali ditemukan di lahan gambut. Fauna tanah yang berperan penting dalam ekosistem lahan rawa antara lain: cacing tanah, semut dan rayap. Cacing tanah termasuk fauna yang berperan sebagai *ecosystem engineer* dan *litter transformer* yang mempunyai kemampuan merombak bahan organik. Kemampuan cacing tanah merombak bahan organik tergantung jenis cacing dan bahan organik. Semut berperan penting dalam agregrasi tanah, dan mampu mentranslokasikan tanah dalam jumlah besar dari bawah ke atas permukaan, sedangkan rayap mempunyai kemampuan mendegradasi bahan organik berupa komponen selulosa dan lignoselulosa.

A. PENDAHULUAN

Lahan rawa merupakan suatu ekosistem yang terdiri dari lingkungan biotik dan abiotik yang spesifik. Pengembangan lahan rawa memerlukan pendekatan teknologi yang bersifat spesifik lokasi. Lahan rawa secara umum adalah lahan yang mendapatkan pengaruh pasang surut air laut atau sungai disekitarnya. Berdasarkan macam dan tingkat kendala dalam pengelolaan untuk pertanian, lahan rawa dibagi menjadi lima tipologi lahan, yaitu: (1) lahan potensial, (2) lahan sulfat masam, (3) lahan gambut, (4) lahan salin atau pantai, dan (5) lahan lebak.

Pemanfaatan sumberdaya lokal guna mengoptimalkan pengelolaan lahan rawa secara berkelanjutan sangat penting, termasuk keberadaan fauna tanah. Fauna tanah berpengaruh dalam proses pembentukan tanah karena berasosiasi dengan bahan penyusun tanah yang terdiri dari batuan, mineral, air dan udara. Fauna tanah adalah salah satu organisme tanah yang hidup baik di permukaan maupun dalam tanah yang berperan penting dalam proses perombakan bahan organik, agregasi, ketersediaan dan siklus hara, sehingga dapat memperbaiki sifat fisika, kimia dan biologi tanah dan pada akhirnya dapat meningkatkan produktivitas lahan (Maftu'ah, 2002).

Keanekaragaman dan kelimpahan fauna tanah dipengaruhi oleh penggunaan, pengelolaan dan tipologi lahan. Populasi, jenis dan aktivitas fauna tanah tergantung pada sifat alami tanah dan pengelolaannya. Fauna tanah yang ada di permukaan tanah berperan merombak bahan organik dari serasah tanaman, sedangkan fauna tanah yang ada di dalam tanah berperan dalam meningkatkan ketersediaan hara, namun ada juga yang berperan sebagai pathogen (De Deyn *et al.*, 2003). Keanekaragaman fauna tanah dapat dijadikan salah satu indikator kualitas tanah (Anderson, 1994; Maftu'ah, 2002).

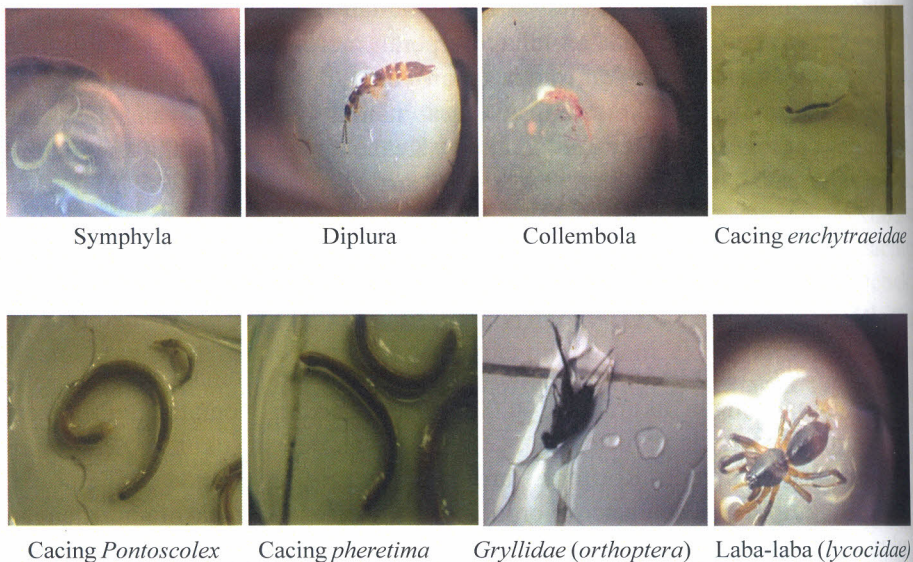
B. BIODIVERSITI FAUNA TANAH DI LAHAN RAWA

Berdasarkan ukurannya, fauna tanah dibedakan menjadi tiga yaitu (1) mikrofauna dengan ukuran 0,2–0,02mm, terdiri dari Nematoda, Protozoa, Rotifera, Tardigrada dan Acarida, (2) mesofauna dengan ukuran 0,2–2,0mm terdiri dari Nematoda, Rotifera, Tardigrada, Acarida, Araneida, Collembola, Protura, Diplura, Pseudoscorpionidea dan Insecta, (3) makrofauna dengan ukuran antara 2,0–20mm terdiri dari Insecta, Pterygota, Opiliones, Pseudoscorpionidea, Diplura, Protura, Collembola, Araneida, Chilopoda, Diplopoda, Isopoda, Mollusca dan Enchytraedia (Mieczylaw dan Grum, 1993).

Beberapa makrofauna di lahan sulfat masam yang sering dijumpai adalah Hymenoptera, Diptera, Araneida, Chilopoda, Diplopoda, Orthoptera, Coleoptera, Oligochaeta, Homoptera, Hemiptera, Scorpions, sedangkan mesofauna antara lain: Isoptera, Isopoda, Collembola, Acaria dan Diplura (Gambar 51).

Kelimpahan dan keanekaragaman fauna tanah di lahan sulfat masam sangat tergantung pada jenis tanah, kelembaban, kemasaman, kadar bahan organik, dan genangan air. Hasil penelitian Maftu'ah *et al.* (2007), populasi mesofauna yang aktif di permukaan tanah tertinggi pada surjan tanaman jeruk, sedangkan terendah pada tukang. Populasi makrofauna aktif di permukaan tanah tertinggi pada areal tumbuhan perupuk (*Pragmites karka*), sedangkan populasi terendah ditemukan pada areal lahan terlantar (Tabel 27).

Fauna tanah yang aktif di permukaan tanah pada lahan sulfat masam didominasi oleh jenis semut (Hymenoptera), yang banyak terdapat pada areal tumbuhan parupuk (*Pragmites karka*) dan surjan jeruk. Populasi Hymenoptera bervariasi antara 16–106 ekor/kg tanah. Populasi mesofauna jenis Acarina banyak dijumpai di lahan surjan jeruk, namun Colembola banyak dijumpai pada lahan yang ditumbuhi parupuk. Populasi Acarina di lahan sulfat masam berkisar antara 0–15 ekor/kg tanah, sedangkan untuk Colembola berkisar antara 0-20 ekor/kg tanah.



Sumber: Robiah, 2007.

Gambar 52. Beberapa fauna yang ditemukan di lahan sulfat masam

Tabel 27. Populasi mesofauna dan makrofauna yang aktif di permukaan tanah pada beberapa penggunaan lahan sulfat masam (Maftu'ah *et al.*, 2007)

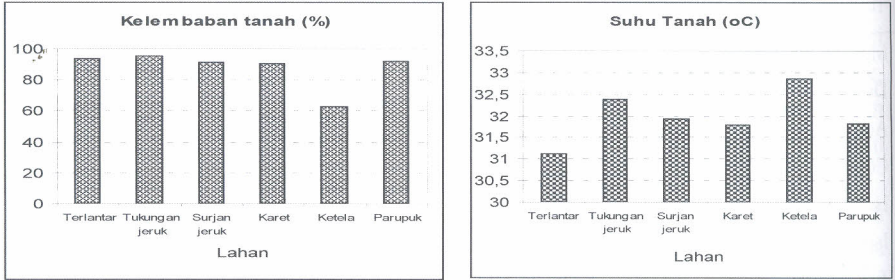
Fauna tanah	Populasi (ekor/jebak)					
	Penggunaan lahan					
	Terlantar	Tukungan jeruk	Surjan jeruk	Karet	Ketela	Parupuk
Mesofauna						
Diplura	-	-	3	3	1	3
Acarina	-	-	10	-	1	-
Collembola	2	-	5	5	2	20
Isopoda	2	-	2	1	-	-
Isoptera	-	-	4	2	-	-
Jumlah	4	-	24	11	4	23
Makrofauna						
Hymenoptera	9	8	52	8	5	59
Araneidae	2	2	5	3	10	9
Diplopoda	2	8	5	6	4	-
Coleoptera	-	-	-	2	2	4
Diptera	2	2	2	-	-	4
Orthoptera	-	-	-	4	6	-
Chilopoda	-	-	-	-	-	8
Homoptera	-	-	-	-	-	2
Jumlah	15	20	64	23	27	86

sumber= Maftuah *et al.* (2007)

Perbedaan penggunaan lahan mempengaruhi keanekaragaman dan populasi makrofauna tanah (Maftu'ah, 2002). Penggunaan lahan mempengaruhi kelembaban, suhu serta beberapa sifat kimia tanah seperti pada Gambar 53 dan 54. Makrofauna yang aktif di permukaan tanah ini, bersifat sesaat, pada kondisi menguntungkan populasinya meningkat dan sebaliknya pada kondisi merugikan berpindah tempat. Kondisi yang disukai oleh fauna tanah bersifat aerob dan lembab tetapi tidak berair.

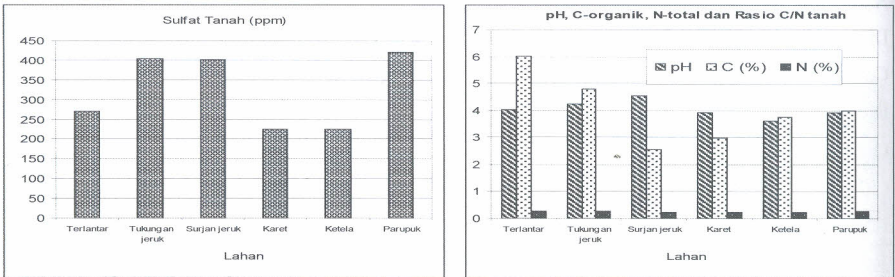
Seperti halnya fauna yang aktif di permukaan tanah, fauna yang aktif di dalam tanah pada beberapa penggunaan lahan sulfat masam juga menunjukkan perbedaan (Gambar 55). Hasil penelitian (Maftu'ah *et al.*, 2007) menunjukkan populasi makrofauna tertinggi dijumpai pada lahan ketela, dan terendah pada areal tumbuhan parupuk (*Pragmites karka*). Makrofauna tanah yang

dominan pada hampir semua penggunaan lahan adalah kelompok Oligochaeta (cacing tanah), kecuali pada areal pertanian ketela. Fauna dalam tanah yang dominan pada areal pertanian ketela adalah Chilopoda (makrofauna) dan Isoptera (mesofauna) (Gambar 55). Isoptera (rayap) merupakan hewan yang hidupnya berkoloni dan melimpah pada tanah dengan kadar C-organik dan kelembaban yang tinggi.



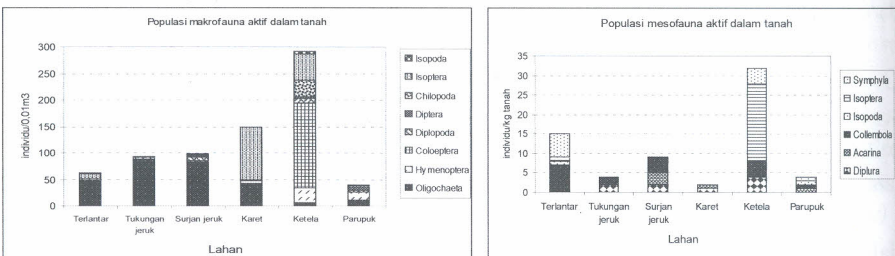
Gambar 53. Kelembaban dan suhu tanah pada beberapa penggunaan lahan di lahan sulfat masam

Sumber: (Maftu'ah et al., 2007).



Gambar 54. Sifat kimia tanah pada beberapa penggunaan lahan di lahan sulfat masam

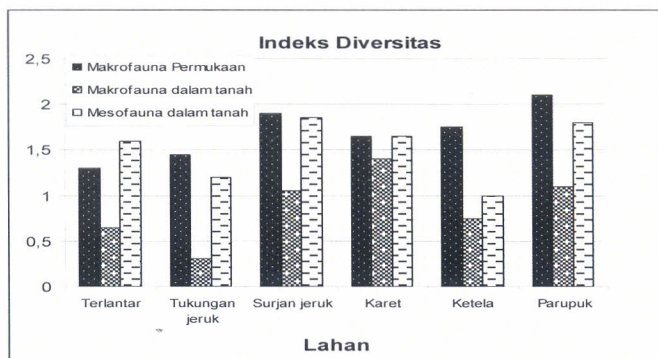
Sumber: (Maftu'ah et al., 2007).



Gambar 55. Populasi makro dan mesofauna yang aktif dalam tanah pada beberapa penggunaan lahan sulfat masam

Sumber: Maftu'ah et al., (2007)

Indeks Keanekaragaman (IK) makrofauna di permukaan umumnya lebih tinggi dibandingkan di dalam tanah. IK makrofauna permukaan tanah yang tertinggi ditemukan pada areal pertanaman karet dan terendah pada areal lahan terlantar. IK makrofauna dalam tanah tertinggi juga ditemukan pada areal pertanaman karet dan terendah pada areal tukang jeruk. IK mesofauna tertinggi ditemukan pada areal surjan jeruk dan terendah pada areal pertanaman ubi kayu (Gambar 56).



Gambar 56. Indeks keanekaragaman fauna tanah

Perubahan dan intensitas penggunaan lahan berperan besar terhadap perubahan dan atau penurunan keanekaragaman hayati. Penurunan keanekaragaman organisme tertentu dapat dijadikan bioindikator atau deteksi dini terjadinya perubahan habitat atau ekosistem tertentu. Bioindikator adalah organisme yang dapat memberikan respon, indikasi, peringatan dini atau representasi serta refleksi dan informasi dari kondisi dan atau perubahan yang terjadi pada suatu ekosistem (Weissman *et al.*, 2006; Elliot, 1997; Jones dan Eggleton, 2000; Hilty dan Merylender, 2000; Vanclay, 2004).

Salah satu peran bioindikator adalah untuk menentukan kualitas tanah pada ekosistem tertentu. Kualitas tanah umumnya ditentukan oleh sifat fisik dan kimia. Penggunaan organisme juga dapat digunakan sebagai bioindikator perubahan lingkungan yang berdampak terhadap kualitas tanah. Hal ini telah dilakukan juga oleh Paoletti *et al.*, 1991 dalam Greenland dan Szabocs, 1994 di Australia yang menggunakan fauna tanah dan mikroorganisme sebagai bioindikator kualitas tanah, dan Maftu'ah (2002) yang menggunakan makrofauna tanah di lahan berkapur DAS Brantas Malang.

Bioindikator yang dapat digunakan untuk menentukan kualitas tanah harus memiliki ciri antara lain: biota sensitif terhadap perubahan, mempunyai respon spesifik, mudah ditemukan dalam jumlah banyak dan biaya penentuan relatif murah (Maftu'ah, 2002). Keberadaan fauna tanah dapat dijadikan

bioindikator kualitas tanah. Fauna tanah berperan penting dalam proses yang ada di dalam tanah, diantaranya dekomposisi, aliran karbon, redistribusi unsur hara, siklus unsur hara, bioturbasi dan agregasi tanah (Giller *et al.* 1997).

Berdasarkan penelitian Maftu'ah *et al.* (2007), keberadaan fauna tanah berhubungan dengan sifat fisik dan kimia tanah di lahan sulfat masam (Tabel 28). Populasi makrofauna dalam tanah seperti cacing (Oligochaeta) dan lalat (Diptera) pada tanah sulfat masam menunjukkan korelasi negatif terhadap kelembaban tanah pada batas antara 80-96%. Hal ini terjadi karena pada lokasi penelitian tergolong lahan rawa pasang surut yang dengan kondisi umumnya anaerob dan kadar air tinggi, sehingga semakin tinggi kadar air tanahnya data antara 80-96% justru populasi cacing tanah semakin menurun.

Populasi Isopoda dalam tanah sulfat masam menunjukkan hubungan positif nyata terhadap kadar bahan organik tanah. Hasil korelasi keanekaragaman makrofauna tanah yang aktif di permukaan menunjukkan "tak berkorelasi" dengan faktor fisika dan kimia tanah. Namun hasil korelasi mesofauna dalam tanah yang diekstraksi dengan *Barlese Tullgren* menunjukkan korelasi positif dengan pH tanah. Populasi Isopoda dalam tanah berkorelasi positif dengan C dan N-total. Total populasi mesofauna tanah berhubungan positif dengan pH tanah.

Di lahan lebak dangkal, keanekaragaman fauna tanah cukup tinggi, baik fauna yang aktif di permukaan maupun di dalam tanah. Fauna yang aktif di permukaan tanah didominasi oleh ordo Acarina, Hymenoptera, Diptera, sedangkan fauna yang aktif di dalam tanah didominasi oleh Collembola, Oligochaeta, Diplopoda (Maftu'ah *et al.*, 2004). Populasi Acarina pada musim hujan di areal lebak terlantar lebih tinggi (184 ekor/kg tanah) dibandingkan pada areal pertanaman karet (104 ekor/kg tanah). Acarina yang sering dijumpai di lahan lebak dangkal adalah family Polyaspididae, Uropodidae dan Trambillidae. Populasi Collembola tertinggi (16 ekor/kg tanah) di lahan terlantar. Collembola yang ditemukan adalah famili Sminthuridae, Onychiuridae dan Entomobrydae. Populasi family Formicidae (Hymenoptera) dominan di lahan rawa lebak, tertinggi (264 ekor/kg tanah) dijumpai pada areal tumbuhan perupuk, diikuti lahan pertanian (12 ekor/kg tanah) dan areal pertanaman karet (4 ekor/kg tanah). Menurut Handayanto (2000) bahwa famili Formicidae (semut) merupakan fauna yang habitat makannya bervariasi yaitu termasuk dalam karnivora, saprofit, predator dan decomposer. Semut mampu mempengaruhi struktur tanah dengan menggali sarang dan menimbun lapisan tanah tipis di permukaan. Semut lebih menyukai tanah dengan kandungan bahan organik tinggi.

Tabel 28. Koefisien Korelasi antara fauna tanah dengan sifat kimia tanah di lahan sulfat masam

Fauna tanah	Sifat Fisika-Kimia Tanah					
	Kelembaban (%)	pH	C (%)	N (%)	C/N	SO ₄ ²⁻ (ppm)
Makrofauna permukaan						
Kelimpahan Semut	-0.497	0.49	-0.49	0.192	-0.65*	0.21
Kelimpahan Cacing	-0.546	-0.68*	-0.11	-0.45	0.26	-0.26
Kelimpahan Kumbang	-0.35	-0.23	-0.35	-0.71	-0.22	-0.19
Kelimpahan Jangkrik	-0.07	-0.36	-0.28	-0.23	-0.41	-0.72*
Kelimpahan Laba-laba	0.08	-0.01	-0.04	0.59*	-0.22	-0.29
Kelimpahan Lalat	-0.09	-0.16	-0.16	-0.52	0.00	0.31
Mesofauna dalam tanah						
Kelimpahan Rayap	-0.19	-0.19	-0.37	-0.42	-0.33	-0.41
Kelimpahan Acarina	-0.48	0.21	-0.52	0.07	-0.64*	0.09
Kelimpahan Isopoda	0.39	-0.13	0.61*	0.95**	0.42	-0.42
Kelimpahan Diplura	-0.21	0.27	-0.28	-0.56	-0.13	0.69*
Kelimpahan Collembola	0.16	0.20	0.38	0.31	0.32	-0.27
Makrofauna dalam tanah						
Kelimpahan Semut	0.18	0.23	0.59*	0.53	0.51	0.13
Kelimpahan Cacing	-0.86*	-0.15	0.59*	-0.56	-0.52	0.11
Kelimpahan Kaki seribu	0.15	-0.05	-0.24	-0.45	-0.16	-0.16
Kelimpahan Lipan	-0.19	-0.11	-0.31	-0.36	-0.28	-0.35
Kelimpahan Diptera	-0.89**	-0.44	-0.62	-0.50	-0.77*	-0.17
Keanekaragaman						
Makrofauna di permukaan	-0.289	-0.487	-0.453	-0.546	-0.336	-0.515
Mesofauna di dalam tanah	-0.049	0.596*	-0.272	-0.07	-0.353	-0.564*
Makrofauna di dalam tanah	-0.803*	-0.196	-0.277	-0.726*	-0.117	0.130

Keterangan: *korelasi nyata, ** korelasi sangat nyata

Sumber: Maftu'ah et al., (2007)

Pada lahan gambut populasi dan jenis fauna tanah bervariasi tergantung macam penggunaan lahan, ketebalan gambut dan musim (Maftu'ah *et al.*, 2004). Pada lahan gambut populasi mesofauna tanah pada areal pertanaman karet lebih tinggi dibandingkan areal pertanaman nenas, terong, jagung, dan lahan terlantar, tetapi keanekaragaman tertinggi pada lahan terlantar. Fauna tanah yang dominan adalah Acarina kemudian disusul oleh Diptera, Hymenoptera, Thymenoptera. Populasi Acarina pada musim hujan tertinggi pada areal pertanaman karet (54 ekor/kg tanah), sedangkan di lahan terlantar lebih rendah (20 ekor/kg tanah).

Keberadaan cacing tanah di lahan gambut sangat tergantung pada pengelolaan lahannya. Pada lahan gambut alami (yang belum diireklamasi) jarang dijumpai cacing tanah, namun pada lahan gambut yang telah dibudidayakan dapat dijumpai cacing tanah. Biomassa dan populasi cacing tanah pada beberapa penggunaan lahan gambut dipengaruhi oleh musim (Tabel 29). Pada lahan bergambut ditemui tiga spesies cacing tanah yaitu *Dichogaster* sp, *Pontoscolex corethrurus* dan *Megascolex* spp, sedangkan pada lahan gambut tebal hanya ditemui *Dichogaster* sp. yang dimungkinkan berasal dari bahan amelioran yang digunakan. Populasi cacing tanah di lahan gambut lebih besar pada musim hujan dibanding musim kemarau (Maftu'ah dan Susanti, 2009). Beberapa fauna tanah lainnya, seperti Coleoptera dan Carabidae mempunyai populasi lebih tinggi pada musim kering (arid) dibandingkan musim basah (winter) di lahan rawa Swedia (Anderson, 2011).

Populasi cacing tanah sangat dipengaruhi oleh kemasaman dan kelembaban tanah. Pada kondisi masam dan jenuh air aktivitas cacing tanah terganggu. Hasil penelitian Christina *et al.* (2013) menunjukkan bahwa frekwensi kehadiran cacing tanah tertinggi (27,5%) pada lahan hutan alam gambut dengan C/N rasio 21 dan pH 4,28 sedangkan pada kebun pekarangan dengan C/N rasio 43,50 dan pH 4,85, hanya 25%. Pada hutan alam yang baru dibuka tidak ditemukan cacing tanah, sedangkan pada Hutan Tanaman Industri (HTI) ditemukan dalam populasi sangat rendah (Tabel 30).

Tabel 29. Komunitas cacing tanah pada beberapa penggunaan lahan gambut pada musim hujan dan kemarau

Penggunaan Lahan	Tipologi lahan	Ketebalan gambut (cm)	Kedalaman lapisan (cm)	Musim Hujan						Musim Kemarau					
				Biomassa m ² (g)			Populasi (ekor/m ²)			Biomassa m ² (g)			Populasi (ekor/m ²)		
				M	P	D	M	P	D	M	P	D	M	P	D
Nanas	Bergambut	<50	0-10	12,7	8,5	2,8	21	75	12	0,8	1,8	0,2	5	45	11
			10-20	7,0	31	2,7	7	198	10	0	1,7	0,1	0	30	17
			20-30	0	16,1	5,7	0	20	73	0	1	0,9	0	40	60
			jumlah	19,7	55,8	11,2	28	293	95	0,8	4,5	1,2	5	115	88
Karet	Bergambut	<50	0-10	0,8	3,1	0,2	11	40	5	0,4	0	0,2	16	0	4
			10-20	0,2	1,8	0,5	4	32	15	0,2	0	0,4	12	0	15
			20-30	0	0,2	1,5	0	21	55	0	0	0,6	0	0	36
			jumlah	1,0	5,1	2,2	15	93	75	0,6	0	1,2	28	0	55
Terong	Gambut tebal	200-300	0-10	0	0	0,6	0	0	13	0	0	0	0	0	0
			10-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			20-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			jumlah	0	0	0,6	0	0	13	0	0	0	0	0	0
Jagung	Gambut tebal	200-300	0-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			10-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			20-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			jumlah	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Terlantar	Gambut tebal	200-300	0-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			10-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			20-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			jumlah	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Keterangan: D = *Dichogaster sp*, P = *Pontoscolex corethrurus*; M = *Megascolex spp*

Sumber : Maftu'ah dan Susanti (2009)

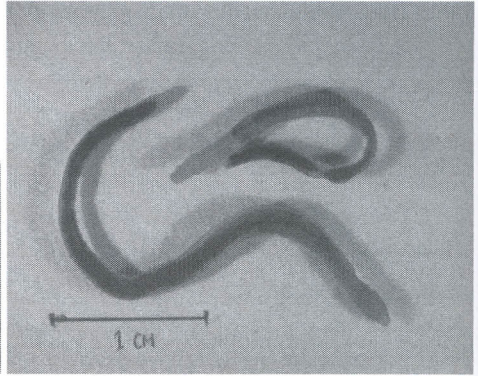
Tabel 30. Karakteristik lahan gambut dan frekuensi kehadiran cacing tanah pada beberapa penggunaan lahan gambut di Kawasan Bukit Batu, Riau.

Jenis penggunaan lahan	Σ titik sampling	Σ titik ditemukan	Frekuensi kehadiran	Karakteristik gambut			
				pH	Kadar air (%)	C/N rasio	Kedalaman muka air (cm)
Hutan alam	40	11	27,5	4,28	80,87	21,00	14,66
Kebun Pekarangan	40	10	25	4,85	44,19	43,50	66,87
Kebun Kelapa sawit	40	9	22,5	4,50	49,19	45,50	84,82
Hutan karet	40	6	15	4,44	51,36	45,50	47,02
HTI	40	1	2,5	4,32	46,36	40,75	110
Hutan Alam yang baru dibuka	40	0	0	4,38	53,65	38,75	73,75

Sumber: Christina et al. (2013)

Menurut Cabrāl (2012) kelimpahan cacing tanah pada lahan gambut dipengaruhi C/N rasio, pH dan kadar air tanah. Penggunaan lahan gambut untuk hutan alam dengan C/N rasio terendah, kadar air sekitar 80% dan pH 4,28 mempunyai frekuensi kehadiran cacing tanah tertinggi. Semakin kecil C/N rasio maka semakin lanjut tingkat perombakan dan semakin tinggi kelimpahan cacing tanah. Yulipriyanto (2010) mengemukakan bahwa cacing tanah mampu mengkonsumsi serasah, detritus dan bahan organik hasil perombakan. Namun menurut Maftu'ah (2002) kapabilitas cacing tanah dalam mengkonsumsi bahan organik ditentukan oleh kualitas dari bahan organik. Bahan organik dengan kandungan hara tinggi, C/N rasio rendah, lignin dan polifenol rendah lebih disukai oleh cacing tanah. Priyadarshini (1999) mengemukakan populasi cacing tanah menurun pada kadar asam humat dan fulvat yang tinggi. Hou et al. (2005) mengemukakan bahwa cacing tanah umumnya hanya dijumpai pada tanah-tanah yang memiliki kisaran pH 6,5–8,6. Cacing tanah dapat berkembang baik pada pH netral, atau agak sedikit basa (pH 6,0-7,2).

Pada lahan gambut di Bukit Batu (Riau) ditemukan cacing tanah spesies *Pontoscolex corethrurus* dari family Glossoscolecidae (Gambar 57). Spesies tersebut mempunyai ciri-ciri utama yaitu Prostomium (mulut) dan segmen pertama tertarik ke dalam, empat pasang seta pada tiap segmen, tidak memiliki kelenjar prostat, dan tiga pasang kelenjar kalsiferus pada segmen 7-9 (Dindal, 1997; Blackemore, 2002). Jenis cacing tanah ini ditemukan pada lahan gambut yang telah reklamasi (deforestasi), termasuk eksotik, bersifat invasif, dan tersebar luas pada lahan terdegradasi (Edwards, 2004).



Dok. Christina et al., 2013.

Dok. Maftu'ah, 2002

Gambar 57. Cacing tanah yang ditemukan di lahan gambut

C. PERANAN FAUNA TANAH DI LAHAN RAWA

Fauna tanah merupakan salah satu sumberdaya hayati yang berperan dalam proses biogeokimia di dalam tanah, sehingga secara langsung maupun tidak langsung berperan dalam meningkatkan produktivitas lahan rawa. Berdasarkan peranannya, fauna tanah dapat digolongkan dalam tiga kelompok yaitu: (1) *Micropredator*, kelompok ini terdiri atas beberapa tipe invertebrata kecil, protozoa dan nematoda, tidak menghasilkan material organik tanah, namun berperan dalam proses mineralisasi dari bahan organik tanah; (2) *Litter transformer*, kelompok ini terdiri atas mesofauna dan beberapa makrofauna yang terlibat dalam proses perombakan bahan organik; dan (3) *Ecosystem engineer*, merupakan fauna yang berperan dalam membangun struktur organo-mineral dan menciptakan lingkungan yang lebih sesuai sehingga terjadi hubungan mutualistik dengan fauna lain yang lebih kecil. Fauna tanah yang termasuk dalam kelompok ini adalah rayap, cacing tanah dan semut. Kelompok ini menerima substrat dari tanaman dan kembali mempengaruhi tanaman melalui perubahan fisik tanah (Lavelle, 1994; Brussaard, 1994; Ruiz et al. 2004).

Menurut Anderson dan Ingram (1993); Bouche (1997); Fragoso et al. (1997) berdasarkan cara makan dan penyebarannya fauna tanah dapat dibagi menjadi tiga kelompok:

- a. *Epigeik* yaitu fauna tanah yang hidup dan makan di permukaan tanah, berperan dalam penghancuran serasah dan pelepasan unsur hara tetapi tidak aktif dalam penyebaran bahan organik/serasah. Kelompok ini terdiri dari Arthropoda (Myriodpods, Isopods), dan cacing berpigmen. Kelompok ini termasuk dalam *Litter Transformers*, karena berperan

- dalam perombakan *in situ* melalui fragmentasi dan mengubah fisik serasah tanpa mengubah susunan kimia.
- b. Aneksik yaitu fauna tanah yang memindahkan serasah dari permukaan ke bagian bawah tanah. Fauna tanah ini mempengaruhi sifat fisik tanah antara lain struktur dan konduktivitas hidrolik tanah. Kelompok ini termasuk dalam *Ecosystem Engineers*. Spesies yang termasuk dalam kelompok ini adalah cacing tanah dan rayap.
 - c. Endogeik yaitu fauna tanah yang hidup dalam tanah dan makan bahan organik dari akar tanaman yang mati. Kelompok ini juga termasuk dalam *Ecosystem Engineers*. Spesies yang termasuk dalam kelompok ini adalah cacing tanah dan rayap. Cacing tanah yang tergolong dalam kelompok ini berkembang dan berinteraksi dengan mikrofauna tanah untuk melepaskan enzim yang berguna dalam merombak bahan organik.

1. Peranan cacing tanah sebagai perombak bahan organik

Cacing tanah dapat meningkatkan proses dekomposisi dan ketersediaan hara dengan cara pemecahan serasah dan mencampurnya ke dalam tanah. Menurut Materechera *et al.* (1996), cacing tanah berperan penting dalam dekomposisi serasah, pelepasan nutrisi dan siklus unsur hara. Kemampuan cacing tanah dalam dekomposisi bahan organik sangat tergantung pada kualitas bahan organik dan jenis cacing. Kualitas bahan organik akan mempengaruhi palabilitas cacing tanah (Tian, 1992).

Berdasarkan penelitian Maftu'ah *et al.* (2007), jenis *Pontoscolex* lebih cepat merombak enceng gondok dibandingkan jenis *Pheretima*, tetapi jenis *Pheretima* lebih cepat merombak jerami dibandingkan jenis *Pontoscolex* (Tabel 31). Kemampuan cacing tanah dalam merombak purun tikus antara jenis *Pheretima* dan jenis *Pontoscolex* hampir sama. Menurut Swift *et al.* (1979) dan Tian (1992) bahwa laju perombakan dipengaruhi oleh kualitas bahan organik, kondisi lingkungan, dan aktivitas fauna tanah sebagai agen perombak. Cacing tanah dapat meningkatkan proses perombakan dan ketersediaan hara melalui penghancuran serasah dan pencampuran ke dalam tanah.

Cacing tanah jenis *Pheretima* mempunyai kemampuan mencerna bahan organik kasar, yang sebagian besar siklus hidupnya berada di atas permukaan tanah (tipe epigeik). Sedangkan jenis *Pontoscolex* merupakan cacing tanah tipe aneksik yaitu mampu bergerak dari permukaan dan ke bawah tanah, mampu berkembang dan berinteraksi dengan mikrofauna tanah untuk melepaskan enzim yang berguna dalam mendekomposisikan bahan organik (Lavelle *et al.*, 1998). Cacing tanah *Pontoscolex* banyak ditemukan di lahan sulfat masam, sedangkan *Pheretima* hanya ditemukan pada tumpukan sampah/serasah dan lapisan topsoil tanah yang subur.

Pengaruh perlakuan jenis bahan organik terhadap perubahan berat cacing tanah total dan jumlah cacing tanah selama periode pengamatan ditunjukkan pada Gambar 58. Peningkatan berat cacing tanah terjadi pada minggu pertama, selanjutnya pada minggu ke empat terjadi penurunan, bahkan cacing tanah *Pheretima* mengalami kematian khususnya pada bahan organik enceng gondok. Kematian cacing tanah tersebut disebabkan oleh kehabisan sumber makanan dari enceng gondok yang mudah dirombak. Menurut Priyadarsini (1999) bahwa bahan organik yang cepat terombak dapat meningkatkan populasi cacing tanah untuk sementara waktu dan menurun dengan semakin menurunnya kandungan bahan organik tanah.

2. Peranan semut di lahan rawa

Semut (Hymenoptera) tergolong dalam meso-makro fauna yang kelimpahan, biomasa, keanekaragaman serta distribusinya tersebar luas hampir diseluruh ekosistem daratan. Semut merupakan fauna tanah yang habitat makannya bervariasi termasuk dalam karnivor, saprofit, predator dan dekomposer. Semut mempengaruhi sistem struktur tanah dengan menggali sarang dan menimbun lapisan tanah tipis di permukaan (Coleman dan Crossley, 1995). Semut dapat menjadi hama tanaman, dan di beberapa tempat dapat menyebabkan gundulnya kawasan di sekeliling sarangnya. Di Barat Daya AS telah dilaporkan bahwa terdapat sekitar 50 bukit semut pada setiap hektar tanah. Bukit-bukit semut juga terdapat di Prairi Wisconsin Barat yang merupakan hasil aktivitas semut-semut dalam mengangkut bahan-bahan tanah lapisan bawah ke permukaan, mirip dengan aktivitas cacing tanah (Foth, 1984 dalam Hanafiah *et al.*, 2005).

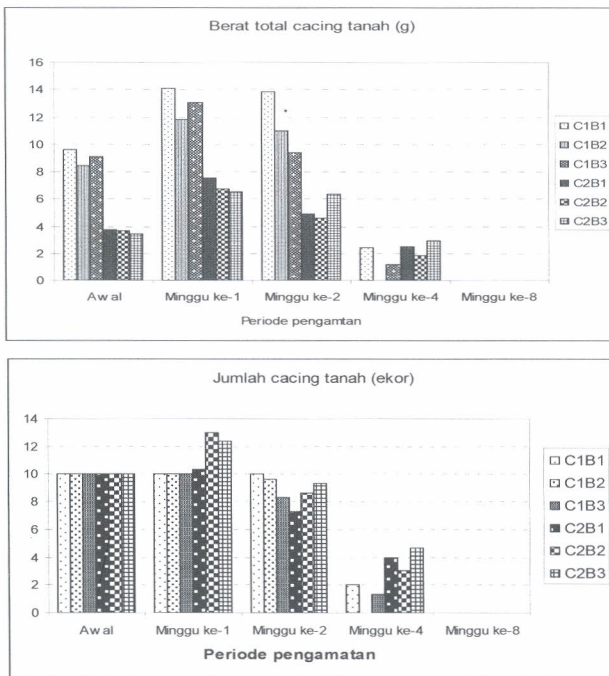
Semut berperan penting dalam agregasi tanah, karena mampu mentranslokasikan tanah dalam jumlah besar dari bawah ke atas permukaan. Hasil aktivitas semut membentuk struktur biogenik (SB) berupa gundukan membentuk agregat tanah dari berbagai ukuran dan sifat yang berbeda. Struktur biogenik (SB) sifatnya bervariasi tergantung pada jenis semut dan jenis tanah dimana semut beraktivitas (Haitao *et al.*, 2010).

Semut termasuk dalam *soil engineers*, karena aktivitasnya dapat mempengaruhi sifat tanah, ketersediaan dan aliran hara di dalam tanah. Aktivitas semut dalam membangun gundukan merupakan aktivitas biologi yang secara nyata mempengaruhi struktur tanah (Decaens *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2006), keanekaragaman tanaman (Folgarait *et al.*, 1997; Hou *et al.*, 2002), dan distribusi unsur hara (Jimenez dan Decaens, 2006; Jimenez *et al.* 2008).

Tabel 31. Konstanta kecepatan perombakan (K) dan bahan terombak (%) sampai pengamatan minggu ke-8 (Maftu'ah *et al.*, 2007)

Perlakuan	Persamaan	K	R ²	Bahan terombak (%)
Jerami padi (C0B1)	$Y = 54,423 e^{-0,1092t}$	0,109	0,904	58,76
Enceng gondok (C0B2)	$Y = 38,593 e^{-0,1358t}$	0,136	0,808	62,37
Purun tikus (C0B3)	$Y = 46,49 e^{-0,0951t}$	0,095	0,877	58,81
Pheretima+Jerami padi (C1B1)	$Y = 55,461 e^{-0,1339t}$	0,134	0,907	65,35
Pheretima+Enceng gondok (C1B2)	$Y = 39,57 e^{-0,1537t}$	0,154	0,711	67,03
Pheretima+Purun tikus (C1B3)	$Y = 46,285 e^{-0,1256t}$	0,126	0,844	64,21
Pontoscolex+Jerami padi (C2B1)	$Y = 50,2 e^{-0,1242t}$	0,124	0,896	65,10
Pontoscolex+Enceng gondok (C2B2)	$Y = 38,98 e^{-1,703t}$	0,170	0,404	69,87
Pontoscolex+Purun tikus (C2B3)	$Y = 45,32 e^{-1,241t}$	0,124	0,981	64,96

Catatan: Laju perombakan bahan organik dihitung mengikuti rumus persamaan eksponensial tunggal yaitu: $Y_t = Y_0 \cdot e^{-kt}$ (Tian, 1992), dimana Y_t adalah C-organik sisa pada waktu t , Y_0 adalah C-organik awal, k adalah konstanta dekomposisi dan t adalah waktu (minggu).



Gambar 58. Perubahan berat total dan jumlah cacing tanah selama periode pengamatan

Hasil penelitian Haitao *et al.* (2010) di beberapa lahan basah di Nongjian-Yalujiang China yang meneliti hasil aktivitas dari 3 jenis semut yang dominan yaitu *L. niger* Linnaeus, *L. flavus* Fabricius, dan *F. sanguinea*. Gundukan hasil aktivitas semut *L. flavus* tersebar mencapai 52,9%, *F. sanguinea* mencapai 26,5% sedangkan *L. niger* mencapai 20,6%. Gundukan dari *L. niger* dan *L. flavus* berbentuk dome, sedangkan *F. sanguinea* adalah berbentuk kolom yang tinggi dan diameternya berbeda berkisar antara 9-51 cm dan 18-50 cm (Tabel 32).

Tabel 32. Tinggi dan diameter dari gundukan semut (Haitao *et al.*, 2010)

	<i>L. flavus</i>	<i>L. niger</i>	<i>F. sanguinea</i>
Kerapatan (jumlah/m ²)	0,06	0,03	0,02
Tinggi (cm)			
Maximum	40,0	47,0	51,0
Minimum	9,0	24,0	20,0
Rata-rata	24,4	32,7	36,8
Diameter (cm)			
Maximum	50,0	50,0	40,0
Minimum	18,0	28,0	20,0
Avarage	34,8	34,5	31,0
Komposisi bahan	tanah	Campuran tanah dan tanaman	Campuran tanaman dan tanah

Lebih lanjut Haitao *et al.* (2010) menyatakan terjadi perubahan ukuran partikel tanah akibat pengaruh aktivitas semut yaitu terjadi peningkatan ukuran partikel debu dan liat. Partikel tanah akan menentukan tekstur tanah, berat isi, porositas dan kapasitas memegang air serta mampu mempengaruhi aktivitas mikrobial dengan perubahan suhu dan kelembaban akibat lingkungan mikro yang terbentuk. Aktivitas semut juga menurunkan berat isi tanah mineral pada lapisan atas di lahan rawa yaitu dari 0,93 g/cm³ (kontrol) menjadi 0,45 g/cm³ (*F. sanguinea*) dan 0,64 g/cm³ (*L. flavus*). Tanah di lahan rawa yang diteliti mempunyai kandungan bahan organik cukup tinggi yang semakin menurun dengan semakin bertambahnya kedalaman tanah. Namun dengan adanya aktivitas semut, bahan organik yang banyak di lapisan atas akan ditransportasikan ke lapisan bawah (Haitao *et al.*, 2010).

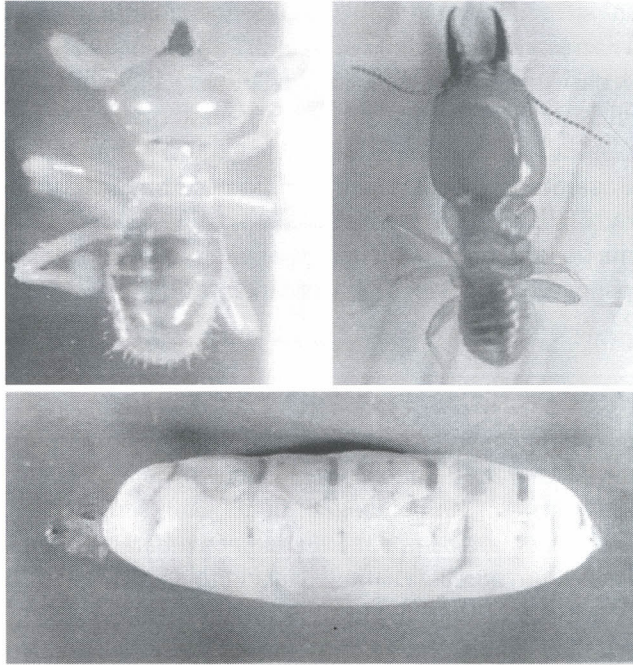
Keberadaan semut di lahan rawa juga sangat ditentukan oleh kondisi basah dan kering. Semut lebih sering dijumpai pada kondisi lingkungan yang kering namun lembab dengan bahan organik tinggi. Semut berperan penting dalam ekosistem sebagai *ecosystem engineers* dan hasil aktivitasnya yang berupa gundukan adalah tempat untuk hidup dan menghasilkan generasi baru (Jones *et al.* 1994). Aktivitas semut secara langsung dan tidak langsung

mempengaruhi sifat fisik tanah. Melalui aktivitas membangun, partikel kecil yang diambil dari lapisan yang lebih dalam di bawa ke lapisan atas, sedangkan bahan organik dari lapisan atas di bawah ke lapisan yang lebih dalam, sehingga merubah berat isi tanah, komposisi partikel dan kemampuan memegang air. Keberadaan saluran sebagai hasil aktivitas (jalan) semut, secara langsung dapat mempengaruhi porositas tanah, drainase dan aerasi tanah (Jouquet *et al.* 2006). Di sisi lain, keanekaragaman tanaman dan mikrobia mempengaruhi aktivitas semut dalam memakan dan sisa yang dihasilkan, sehingga pada akhirnya berpengaruh terhadap sifat fisik tanah (Folgarait *et al.* 2002; Amador *et al.* 2007).

3. Peranan rayap sebagai perombak bahan organik

Rayap merupakan serangga yang hidup berkelompok dengan perkembangan kasta yang telah diketahui dengan jelas. Dalam satu koloni terdiri dari tiga kasta dengan pembagian tugas yang sangat jelas, yaitu kasta reproduksi berperan dalam pembentukan dan penyebaran koloni. Rayap kasta prajurit bertugas dalam menjaga sarang dan anggota koloni dari hewan-hewan pengganggu. Rayap kasta pekerja bertugas dalam menjaga dan merawat telur dan nimfa, membuat sarang, memelihara sarang, mencari dan memberi makan seluruh anggota koloni (Lee dan Wood, 1971).

Berdasarkan organisasi dalam koloni dan simbiosis pada sistem pencernaan yang berperan dalam penguraian selulosa, rayap dibagi dalam dua kelompok yaitu rayap tingkat rendah (*lower termites*) dan rayap tingkat tinggi (*higher termites*). Pada rayap tingkat rendah umumnya simbiosis yang hidup di dalam saluran pencernaannya adalah dari golongan protozoa, sedangkan pada rayap tingkat tinggi peranan protozoa digantikan oleh bakteri. Famili yang tergolong tingkat rendah yaitu; Mastotermitidae, Kalotermitidae, Hodotermitidae, Termopsidae, Rhinotermitidae dan Serretermitidae, sedangkan famili yang termasuk rayap tingkat tinggi adalah Termitidae (Krishna, 1989). Famili Termitidae banyak dijumpai di Indonesia (Nandika *et al.*, 2003). Menurut Pranggodo *et al.* (1983), dari semua jenis rayap yang paling banyak menimbulkan kerusakan adalah rayap dari famili *Rhinotermitidae* dan *Kalotermitidae* yang mampu merusak bangunan dan peralatan dari kayu.



Sumber: Tarumingkeng

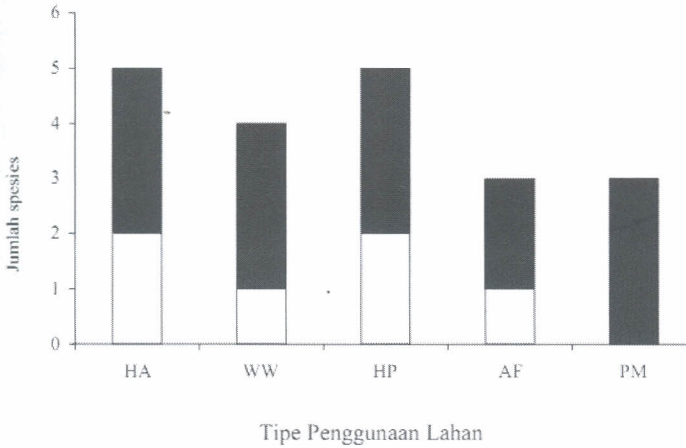
Gambar 59. Rayap pekerja (A), rayap prajurit (B), rayap reproduksi/ratu (C)

Rayap merupakan fauna tanah yang penting dalam pembentukan struktur tanah dan dekomposisi bahan organik, serta kesediaan unsur hara (Anderson 1993; Coleman dan Crossley, 1995; Lavelle *et al.*, 1994). Selain kemampuannya sebagai dekomposer, ada beberapa jenis rayap yang menjadi hama penting di dunia (Lee dan Wood, 1971).

Salah satu peran utama rayap dalam dekomposisi bahan organik adalah kemampuannya dalam mendegradasi komponen selulosa dan lignoselulosa. Dalam melaksanakan aktivitas merombak selulosa, rayap membutuhkan enzim selulase yang dihasilkan oleh simbion rayap (mikroorganisme yang ada dalam sistem pencernaan rayap) yang terdiri atas endoglukanase, eksoglukanase (selobiohidrolase) dan β -glukosidase (Irawadi, 1990). Mikroorganisme yang lazim terdapat di dalam rectum rayap adalah Archaea, Eubacteria, dan Eucarya seperti Protozoa dan Fungi (Bignell, 2000). Pada rayap tingkat rendah (lower termite) banyak ditemukan protozoa simbion di rectum, sedangkan pada rayap tingkat tinggi (higher termite) peran protozoa digantikan oleh bakteri (Lee dan Wood, 1971). Bakteri yang ada di dalam rectum rayap menghasilkan berbagai enzim yang digunakan untuk menghidrolisis substrat selulosa. Sebaliknya

dengan adanya selulosa yang terkandung di dalam substrat akan merangsang bakteri ini untuk menghasilkan enzim selulase (Widyanstuti, 2005).

Kelompok fungsional rayap berdasarkan kelompok makanan (feeding group) dibedakan menjadi kelompok rayap pemakan kayu dan kelompok rayap pemakan tanah. Berdasarkan penelitian Pribadi (2009) di Gunung Slamet, menemukan kelompok pemakan tanah terdiri dari *Procapritermes setiger* dan *Pericapritermes semarangi*. Sedangkan kelompok rayap pemakan kayu terdiri dari *S. javanicus*, *Macrotermes gilvus*, *Microtermes insperatus*, *N. javanicus* dan *N. Matangensis*. Pada ekosistem hutan baik itu hutan alami, hutan produksi, serta agroforestry dan wanatani dijumpai ke dua kelompok jenis rayap baik rayap pemakan tanah maupun rayap pemakan kayu, namun pada pemukiman tidak dijumpai kelompok rayap pemakan tanah (Gambar 60).



HA; Hutan lindung, WW; Wana wisata, HP; Hutan Produksi, AF; Agroforestri, PM Pemukiman

Gambar 60. Kepadatan kelompok rayap pemakan kayu (diarsir hitam) dan kelompok rayap pemakan tanah (tidak diarsir/putih) pada beberapa penggunaan lahan di Gunung Slamet (Pribadi, 2009)

Kondisi tanah tempat di Gunung Slamet tempat dilakukan penelitian secara statistik tidak menunjukkan perbedaan, namun ada kecenderungan pH meningkat, dan kandungan karbon serta nitrogen menurun dengan meningkatkannya gangguan ekosistem. Tipe penggunaan lahan berpengaruh nyata terhadap ketebalan seresah, dekomposisi relatif dan laju dekomposisi (Pribadi, 2009).

Peranan utama rayap dalam ekosistem adalah sebagai degradator primer, serta agen biologi dalam perbaikan vegetasi dan kualitas tanah. Rayap membuat bangunan sarang dari bahan organik dan tanah. Sarang rayap mempunyai sifat yang berbeda dengan tanah disekitarnya. Kandungan bahan organik dalam bangunan sarang rayap antara lain air sebesar 98,33% dan padatan 1,67%. Padatan tersebut terdiri karbohidrat sebesar 3,16%, abu sebesar 4,19%, lemak 23,95%, protein sebesar 39,52% dan sisanya 29,18% berupa mineral-mineral (Subekti, 2012). Selain itu aktivitas rayap juga mampu membuat lorong-lorong (liang kembara) di dalam tanah (Lee *et al.*, 2007). Aktivitas tersebut membuat aerasi tanah menjadi lebih baik, sehingga akan mempengaruhi penetrasi akar dan ketersediaan air serta oksigen bagi tanaman.

Tabel 33. Komposisi spesies rayap tanah di lahan gambut Bukit Batu, Riau

Famili	Subfamili	Spesies	Jenis Penggunaan Lahan	
			HA	HTI
Termitidae	Termitidae	<i>Capritermes semarangi</i>	*	*
Termitidae	Termitidae ^t	<i>Capritermes mohri</i>	*	*
Termitidae	Termitidae	<i>Microcerotermes dubius</i>	*	
Termitidae	Nasutitermitidae	<i>Bulbitermes proatripennis</i>	*	
Termitidae	Nasutitermitidae ^t	<i>Nasutitermes proatripennis</i>	*	
Termitidae	Nasutitermitidae	<i>Ceylonitermes indicola</i>	*	
Rhinomitidae	Rhinomitidae	<i>Schedorhinotermes malaccensis</i>	*	*
Rhinomitidae	Rhinomitidae	<i>Parrhinotermes aequalis</i>	*	*
Rhinomitidae	Coptotermitidae	<i>Coptotermes curvignathus</i>		*

Sumber: Ayu *et al.*, 2013

Lahan gambut yang telah direklamasi dapat mengundang kehadiran rayap tanah. Keanekaragaman spesies rayap tanah di lahan gambut baik di hutan alami maupun kawasan HTI pada umumnya relatif rendah. Jenis rayap yang dijumpai di lahan gambut adalah famili termitidae dan Rhinitermitidae (Tabel 33). Perubahan penggunaan lahan gambut dari hutan alami menjadi hutan tanaman industri (HTI) di lahan gambut Bukit Batu, Riau, menurunkan jenis dan populasi rayap (Saputra 2013; Ayu *et al.*, 2013). Aktivitas rayap di lahan gambut memengaruhi perubahan karakteristik mikrobiologis gambut, yaitu meningkatkan biomassa karbon, lahu respirasi, totak polpulasi bakteri selulotik dan aktivitas selulase (Yuliana *et. al.*, 2013). Hasil aktivitas rayap antara lain terbentuknya sarang rayap yang mempunyai karakteristik berbeda dengan bahan penyusunnya. Rayap membangun sarang dengan terlebih dahulu mengunyah dan menelan bahan-bahan yang dipergunakan, kemudian dikeluarkan kembali melalui regurtasi. Bahan gambut yang sudah menjadi sarang rayap merupakan massa organik yang lebih homogen dari segi bentuk maupun ukurannya, sehingga menjadikan gambut lebih padat.

D. KESIMPULAN

Keberadaan fauna tanah di lahan rawa sangat ditentukan oleh tipologi lahan, jenis tanah dan penggunaan lahan. Keanekaragaman fauna baik yang aktif di dalam maupun di permukaan tanah di lahan gambut lebih rendah dibandingkan sulfat masam dan lebak. Penggunaan lahan sangat mempengaruhi kelimpahan dan keanekaragaman fauna tanah. Beberapa jenis mesofauna tanah yang dominan di rawa adalah Acarina kemudian disusul oleh Diptera, Hymenoptera, Thymenoptera, Isoptera, Isopoda, Collembola, Acarina, Diplura sedangkan makrofauna yang sering dijumpai adalah Hymenoptera, Diptera, Araneida, Chilopoda, Diplopoda, Orthoptera, Coleoptera, Oligochaeta, Homoptera, Hemiptera, Scorpions.

Fauna tanah yang berperan penting dalam ekosistem lahan rawa antara lain: cacing tanah, semut dan rayap. Cacing tanah termasuk fauna yang berperan sebagai *ecosystem enginer* dan *litter transformer* yang mempunyai kemampuan mendekomposisikan bahan organik. Semut berperan penting dalam agregrasi tanah, dan mampu mentranslokasikan tanah dalam jumlah besar dari bawah ke atas permukaan. Salah satu peran utama rayap dalam dekomposisi bahan organik adalah kemampuannya dalam mendegradasi komponen selulosa dan lignoselulosa.

DAFTAR PUSTAKA

- Amandor J.A., J.H. Gorress, 2007. Microbiological characterization of the structures built by earthworms and ants in an agricultural field. *Soil Biology and Biochemistry* 39:2070-2077
- Anderson, J. and Ingram, J.S.I., 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods* second Edition. CAB International. Oxford.
- Anderson, J.M., 1994. Functional Attributes of Biodiversity in Landuse System: In D.J. Greenland and I. Szabolcs (eds). *Soil Resiliense and Sustainable Land use*. CAB International. Oxon.
- Adianto, 1992. *Biologi Pertanian. Alumni*. Bandung.
- Anderson, J. 2011. Winter quarters of wetland ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in South Scandinavia. *J. Insect Conver* 15:799-810.
- Ayu, F., A. Muhammad dan D Salbiah. 2013. Keanekaragaman dan biomassa rayap tanah di hutan alam dan tanaman industri (HITI) pada lahan gambut di Kawasan Bukit Batu Riau. www.scholar.google.co.id
- Balittra, 2004. Laporan Akhir Tahun. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Badan Litbang Pertanian. Banjarbaru.
- Balittra, 2005. Laporan Akhir Tahun. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Badan Litbang Pertanian. Banjarbaru.
- Balittra, 2007. Laporan Akhir Tahun. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Badan Litbang Pertanian. Banjarbaru.
- Bauche, M.B., 1997. Strategies Lumbriciennes. In U. Lhm, and T. Persson (eds). *Soil Organism as Components of Ecosystem. Ecol. Bull.* 25:122
- Bignell DE. 2000. Introduction to symbiosis. in: Abe T, Bignell DE, Higashi M. *Termites Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Dordecht: Kluwer Academic. hal: 189-208
- Blackemore, R.J. 2002. *Cosmopolitan Earthworms – an Eco Tacsonomic Guide to the Peregrine Species of the World. VermEcology*: Canberra.
- Brussaard, L., 1994. Interrelationship between biological activities, soil properties and soil management, in D.J. Greenland and I. Szabolcs (eds). *Soil Resiliense and Sustainable Land Use*. CAB International. Oxon.

- Cabral, M.R. 2012. Relation and Change Over Time of CN Ratios Throughout Swedish Peatlands and in Seven Fertility Classes. Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Christina, R., A. Muhammad dan Y. Yus, 2013. Kelimpahan dan biomassa cacing tanah di beberapa jenis penggunaan lahan gambut di kawasan Bukit Batu, Riau. <http://www.google.com/repository.unric.ac.id/bitstream>.
- Coleman, D.C., and Crossley, D.A. 1995. *Fundamental of Soil Ecology*. Academic Press. New York.
- De Deyn, G.B., C.E. Raaijmakers, H. R. Zoomer, M. P. Berg, P.C. de Rooter, H. A. Verhoef, T. M. Martijn Bezemer and W. H. van der Putten. 2003. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Nature*; 422, 6933.
- Decaens, T., N. Asakawa, J.H. Galvis, R.J. Thomas, E. Amezquita, 2002. Surface activity of soil ecosystem engineers and soil structure in contrasted land use system of Colombia. *European Journal of Soil Biology* 38:267-271.
- Dindal, L. and Wray, C., 1997. Community structure and role macroinvertebrate decomposers in the rehabilitation of limestone quarry. In E.J. Perry and N.A. Ricards (eds). *Limestones Quarry: Responses to Land use Pressures. Sunny Call Environ. Sci. and Forestry*. New York pp 72-99.
- Edwards, C.A. 2004. *Earthworm Ecology* 2nd Edition. CRC Press LLC. London.
- Elliot ET. 1997. Rationale for developing bioindicator of soil health. Di dalam: Pankhurst CE, Doube BM, Gupta VVSR, editor. *Biological Indicator of Soil health*. New York: CABI
- Folgarait, P.J. S. Perelman, N. Gorosito, R. Pizzio, J. Fernandez, 1997. Effect of *Componouts punctulatus* Ants on Plant Community Composition and Soil Across Land Use Histories. Ecological Society of America Annual Meeting, Albuquerque, New Mexico, USA. Pp.88.
- Folgarait, P.J., S. Perelman, N. Gorosito, R. Pizzio and J. Fernindez, 2002. Effect of *Componotus puntulatus* ants on plant community composition and soil properties across land-use histories. *Plant Ecology* 163: 1-13
- Fragoso, C.A. Brown, G.G, Patron J.C. Blanchart, E. Lavelle, P. Pashanasi, B., Senapati, B., and Kumar, T. 1997. Agricultural Intensification. Soil Biodiversity and Agroecosystem Function in The Tropics; The Role of Earthworm. *App. Soil Ecol.* 6:17-35.

- Giller, K.E., Beare, M.H., Lavelle, P., Izac, A.M.N., and Swift, M.J. 1997. Agriculture Intensification, Soil Biodiversity and Agroecosystem Function. *App. Soil Ecol.* 6:3-5.
- Greenland, D.J., and Szabolcs, I. 1994. Soil Resilience and Sustainable Land use. CAB International. Oxon.
- Haitao, Wu, W. Donghui, L. Xianguo, and Y. Xiaomin, 2010. Spatial distribution of ant mounds and effect on soil physical properties in wetlands of the Sanjiang plain, China. *Acta Ecologica Sinica* 30:270-275.
- Handayanto, E. 2000. Intensifikasi Pertanian dan Fauna Perombak dalam Tanah. Biologi Tanah Lanjutan. Program Pascasarjana Universitas Brawijaya. Malang.
- Hanafiah, K.A. I. Anas dan A. Napoleon, 2005. Biologi Tanah Ekologi dan Mikrobiologi Tanah. PT Raja Grafindo Perkasa. Jakarta.
- Hilty J, Merenlender A. 2000. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biol Con* 92: 185-197
- Hou, J., Q. Yanyun, L. Guangqing and R. Dong. 2005. The influence of temperature, pH and C/N ratio on the growth and survival of earthworm in municipal solid waste. *Agricultural Engineering International.* 7:1-8.
- Hou, J.H. D.W. Zhou, S.C. Jiang, 2002. Species composition and spatial distribution of ants in the grassland region in the west of Jilin province. *Acta Ecologica Sinica* 22 (10);1781-1787.
- Jimenez, J.J. and T. Decaens, 2006. Chemical variations in the biostructures produced by soil ecosystem engineers. Examples from the neotropical savannas. *European Journal of Soil Biology* 42; 92 -102.
- Jimenez, J.J. T. Decaens, and P. Lavelle, 2008. C and N concentrations in biogenic structures of a soil-feeding termite and a fungus-growing ant in the Colombian savannas. *Applied Soil Ecology* 40;120-128.
- Jones DT, Eggleton P. 2000. Sampling termite assemblages in tropical forest: testing a rapid biodiversity assessment protocol. *J Appl Ecol* 37: 191-203.
- Jones, C.G., J.H. Lawton, and M. Shachak, 1994. Organisms as ecosystem engineers, *Oikos* 69;373-386

- Jouquet, P., J. Dauber, J. Lagerlof, P. Lavelle and M. Lepage. 2006. Soil invertebrates as ecosystem engineers: intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Applied Soil Ecology* 32:153-164.
- Krisna K and Weesner F.M. 1969. *Biology of Termites*. New York: Academic Press.
- Lavelle, P. 1994. Soil Fauna and Sustainable Land Use in The Humic Tropic. In D.I. Greenland and I. Szabolcs (eds) *Soil Resiliense and Sustainable Land Use*. CAB International. Oxon.
- Lavelle, P., Pashanasi, B., Charpertier, F., Gilot, C., Rossi, Derouard, L., Andre, J., Ponge, J.F. and Bernier, N. 1998. Large scale effect of earthworms of soil organic matter and nutrient dynamics. In C.A. Edwards (ed). 1998. *Earthworms Ecology*. CRC Press LLC. Washington DC.
- Lee K.E. and Wood T.G. 1971. *Termite and Soil*. London: Academic Press.
- Li, Q.X., L.X. Sheng, D.W. Zhou, Y. Zhang, 2006. Effect of *Lasisus flavus* (Fabricius) on soil physicochemical properties of the Songnen grassland. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* 12 (4);528-532.
- Maftu'ah, E. 2002. Studi Potensi Keanekaragaman Makrofauna Tanah sebagai Bioindikator Kualitas Tanah Berkapur pada Beberapa Penggunaan Lahan di Malang Selatan. *Tesis*. Program Pascasarjana Universitas Brawijaya. Malang.
- Maftu'ah, E., M. Willis dan M.A. Susanti, 2004. Keanekaragaan fauna tanah di lahan rawa. Laporan Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru.
- Maftu'ah, E., Mukhlis dan Susanti, M.A., 2007. Potensi Fauna Tanah sebagai Indikator Kualitas Tanah. Laporan Akhir Tahun. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Badan Litbang Pertanian. Banjarbaru.
- Maftu'ah, E. dan M.A. Susanti, 2009. Komunitas Cacing Tanah pada Beberapa Penggunaan Lahan Gambut di Kalimantan Tengah. *Berita Biologi* 9(4).
- Materechera, S.A. Mandiringana, O.T. and Mbokodi, P.M., 1996. Soil Biota: Properties of cast from microchetid earthworms and their possible role in nutrient cycling. Swift, M.J. (eds) *The Biology and Fertility of Tropical Soil*. TBSF. Noirobi. Kenya.
- Mieczyslaw, G. and L. Grum, 1993. *Method in Soil Zoology*. Elsevier. London.
- Nandika D, Rismayadi Y and Diba F. 2003. *Rayap: Biologi dan Pengendaliannya*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.

- Noor, M. 1996. Padi Lahan Marjinal. Penerbit Swadaya. Jakarta.
- Pranggodo, B.T.R, Mardikanto dan D. Nandika, 1983. Pengujian efektivitas kapur untuk mencegah serangan rayap subteran pada bangunan. Laporan Penelitian. Fakultas Kehutanan. IPB. Bogor.
- Pratikno, H., 2002. Studi pemanfaatan berbagai biomasa flora untuk peningkatan ketersediaan P dan bahan organik tanah pada tanah berkapur di DAS Brantas Hulu Malang Selatan. Tesis. Program Pascasarjana Program studi Pengelolaan Tanah. Universitas Brawijaya Malang.
- Pribadi, T. 2009. Keanekaragaman komunitas rayap pada tipe penggunaan lahan yang berbeda sebagai bioindikator kualitas lingkungan. Tesis. Sekolah Pascasarjana. IPB. Bogor.
- Priyadarshini, R., 1999. Estimasi model (C-stock) masukan bahan organik, dan hubungannya dengan populasi cacing tanah pada sistem wanatani. Tesis. Program Pascasarjana Program Studi Pengelolaan Tanah dan Air. Universitas Brawijaya Malang.
- Rabiah, N. 2007. Populasi dan biodiversitas fauna tanah pada beberapa penggunaan lahan di tanah sulfat masam di Barito Kuala Kalimantan Selatan. Skripsi. Universitas Lambungmangkurat. Banjarbaru.
- Ruiz, N and Lavelle, P and Jimenez, J. 2004. Soil Macro Fauna Field Manual. http://www.ecoport_org1.com. Saputra, A., A. Muhammad dan Y. Yus, 2013. Keanekaragaman dan biomassa rayap tanah di dua sistem budidaya karet pada lahan gambut di kawasan Bukit Batu, Riau. www.scholar.google.co.id
- Subekti, N. 2012. Kandungan bahan organik dan akumulasi mineral tanah pada bangunan sarang rayap tanah *Macrotermes gilvas* Hagen (Blattodea: Termitiae). *Biosantifika* 4(1): 10-17.
- Suin, M.N. 1997. Ekologi Hewan Tanah. Bumi Aksara. Jakarta.
- Swift, M.J., Heal, O.W. and Anderson, J.M., 1979. Decomposition in terrestrial ecosystem. *Studies in Ecology* Vol 5. Blackwell Scientific Publications. Oxford etc. 372p.
- Tian, G. 1992. Biological effect on plant residues with contrasting chemical composition on plant and soil under humid tropics. PhD thesis Wageningen Agricultural University. Wageningen.
- Vanclay JK. 2004. Indicator groups and faunal richness. *Fbmis* 1: 105-113

- Weissman L, Fraiber M, Shine L, Garty J, Hochman A. 2006. Responses of antioxidants in the lichen *Ramalina lacera* may serve as a nearly warning bioindication systems for detection of air pollution stress. *Fems Microbiol Ecol* 58: 41-53
- Widyastuti, A.T. 2005. Isolasi dan uji kemampuan selulolitik bakteri simbion rayap pendegradasi serat. Skripsi. Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan. Fakultas Peternakan. IPB. Bogor.
- Yuliana, S., D. Zul dan A. Muhammad, 2013. Kajian pengaruh aktivitas rayap terhadap karakteristik mikrobiologis gambut. www.scholar.google.co.id
- Yulipriyanto, H. 2010. Biologi Tanah dan Strategi Pengelolaannya. Graha Ilmu. Yogyakarta.