



Keanekaragaman dan fluktuasi kelimpahan Collembola di sekitar tanaman kelapa sawit di perkebunan Cikasungka, Kabupaten Bogor

Diversity and abundance fluctuation of Collembola in
oil palm plantation, Cikasungka, Bogor District

Erwinda^{1*}, Rahayu Widyastuti¹, Gunawan Djajakirana¹, Yayuk R Suhardjono²

¹Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jalan Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

²Peneliti Bidang Zoologi-Pusat Penelitian Biologi, LIPI
Jalan Raya Jakarta-Cibinong Km. 46, Cibinong 16911

(diterima Oktober 2015, disetujui Juli 2016)

ABSTRAK

Collembola merupakan salah satu mikroarthropoda yang dominan pada semua jenis tanah dan memiliki peranan penting dalam rantai makanan ekosistem tanah. Penelitian ini dilaksanakan di perkebunan kelapa sawit Cikasungka selama enam bulan (April sampai September 2014). Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi keanekaragaman dan fluktuasi kelimpahan Collembola, serta hubungannya dengan faktor lingkungan. Collembola dikumpulkan berdasarkan 4 titik sampel tanah dari lima pohon kelapa sawit yang memiliki kriteria yang sama. Dengan jarak 0, 120, 240 cm dari pohon, dan jalur kompos. Hasil penelitian diperoleh 37 jenis dari 4 bangsa, 13 suku, dan 10.438 individu dengan rata-rata populasi 544 individu/m². Terdapat perbedaan fluktuasi kelimpahan pada empat titik dari setiap bulan pengambilan sampel. Kelimpahan Collembola yang tinggi ditemukan pada daerah pangkal pohon (920 individu/m²) dan gawangan kompos (763 individu/m²). Selama enam bulan, *Isotomid* sp. 5 (*Isotomidae*) merupakan jenis Collembola dengan jumlah populasi tertinggi dari jenis yang lain. Berdasarkan hasil analisis korelasi, beberapa jenis Collembola mempunyai hubungan positif dengan curah hujan dan pH tanah.

Kata kunci: ekosistem, *Isotomidae*, korelasi, mikroarthropoda

ABSTRACT

Collembola is one of the dominant microarthropods in almost all soils types. They have important function in food webs soil ecosystem. This research was done at Cikasungka oil palm plantation for six months (April until September 2014). The aim of the research was to collect the information of diversity abundance and population fluctuations of Collembola, and their linkages between environmental factors. Collembolans were collected based on four points of soil sample from five trees of oil palm which has similar criteria. Distance of 0, 120, 240 cm from the trees, and compost lane were used to collect the samples. Results showed 37 species from 10.438 individuals with a density of 544 individu/m². The species belongs to 4 orders and 13 families. Result also showed that are fluctuations in the abundance at the sample sites. The highest abundance of Collembolans was found in base tree zone (920 individu/m²) and compost lane (763 individu/m²). During six months, total populations of *Isotomid* sp. 5 (*Isotomidae*) was higher than the others species of Collembolans. Based on the correlation analysis, various species of Collembolans are positively correlated with rainfall and soil pH.

Key words: correlation, ecosystem, *Isotomidae*, microarthropods

*Penulis korespondensi: Erwinda. Program Studi Bioteknologi Tanah dan Lingkungan, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680
Tel: 081341772447, Email: erwindarantika@yahoo.co.id

PENDAHULUAN

Keanekaragaman organisme dalam tanah memberikan kontribusi penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem, baik sebagai dekomposer maupun pengendali hayati (Coleman et al. 2004). Peranan organisme tanah dalam mendekomposisi bahan organik dan siklus hara bertujuan untuk memperbaiki serta mempertahankan kualitas dan kesuburan tanah (Wolters 1998; Culliney 2013).

Berbagai aktifitas budi daya, seperti pengolahan lahan, pemberian pupuk anorganik, serta menggantikan peran pengendali musuh alami dengan pestisida dapat mempengaruhi ekosistem tanah (Culik et al. 2002; Coleman et al. 2004; Greenslade et al. 2010). Sistem penanaman monokultur dengan vegetasi tertentu juga dapat mempengaruhi keanekaragaman arthropod tanah (Rahmadi et al. 2004).

Komposisi mikroarthropoda tanah salah satu yang dominan ditemukan, yaitu Collembola. Collembola sering dijumpai dalam jumlah individu yang banyak di antara arthropoda tanah (Suhardjono 2002). Keanekaragaman arthropoda tanah di lantai hutan kawasan hulu Sungai Katingan, Kalimantan Tengah didominasi oleh Collembola (Rahmadi & Suhardjono 2003). Collembola mempunyai panjang tubuh antara 0,25–8 mm, memiliki furka atau furkula di bagian belakang tubuhnya yang berfungsi untuk melenting hingga sejauh 5–6 kali panjang tubuhnya (Suhardjono et al. 2012).

Perbedaan kelimpahan dan keanekaragaman Collembola dipengaruhi oleh sumber makanan, jenis vegetasi, dan teknik budi daya. Perbedaan keanekaragaman diperoleh di bawah tegakan hutan jati, kebun rumahan, dan sawah (Widyastuti 2004). Pada tanah sawah, ketika bera hingga awal tanam padi terjadi dinamika populasi Collembola (Widyastuti 2005). Perbedaan vegetasi, seperti hutan, kebun pertanian organik, kebun sayur, dan kebun teh dapat menyebabkan perbedaan keanekaragaman Collembola (Agus 2007).

Perbedaan keanekaragaman Collembola juga ditemukan pada kebun karet yang ditumpang sari dengan tanaman kakao, kopi, kemiri, dan kelapa sawit di Lampung (Fatimah et al. 2012). Akan tetapi, referensi penelitian mengenai keanekaragaman dan fluktuasi kelimpahan Collembola pada lahan budi daya monokultur kelapa sawit masih belum pernah dilaporkan.

Teknik budi daya pada perkebunan kelapa sawit memungkinkan terjadinya perbedaan keanekaragaman dan kelimpahan Collembola. Terbatasnya informasi keanekaragaman Collembola dan kekhasan pengolahan lahan perkebunan kelapa sawit menjadi pemicu untuk melakukan penelitian. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh informasi keanekaragaman, fluktuasi kelimpahan Collembola, serta hubungannya dengan faktor lingkungan.

BAHAN DAN METODE

Pengambilan sampel tanah

Lokasi pengambilan sampel terletak pada blok 56 di Perkebunan Kelapa Sawit PTPN VIII, Cikasungka, Bogor, Jawa Barat, dengan umur tanaman 10 tahun. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada bulan April–September 2014. Pada luas lahan ≤ 1 ha, sebanyak 5 pohon kelapa sawit dipilih secara acak, untuk dijadikan objek penelitian. Dari setiap pohon diambil 4 titik pencuplikan sampel tanah dengan ukuran 20 cm x 20 cm x 5 cm, terdiri atas pangkal pohon (0–20 cm), piringan (120–140 cm) yang merupakan daerah pemupukan dan selalu dibersihkan dari gulma, jalan produksi (240–260 cm) merupakan jalan setapak yang ditumbuhi beberapa rumput, dan daerah gawangan kompos (400–450 cm), yaitu daerah penumpukan serasah dan pelepah kelapa sawit. Selanjutnya sampel tanah tersebut diekstrak menggunakan *Kempson extractor*. Collembola tanah hasil ekstraksi tersebut kemudian disimpan dalam botol 100 ml berisi alkohol 70% sebanyak 2/3 dari volume botol. Selain itu, dilakukan 20 kali pencuplikan sampel tanah untuk analisis kimia (pada bulan April 2014), sedangkan pengukuran pH dan curah hujan dilakukan setiap bulan.

Identifikasi

Identifikasi dilakukan sampai tingkat jenis, secara morfologi (morfospesies) (Suhardjono et al. 2012), dengan penamaan setiap jenis digunakan nama suku. Populasi Collembola ditetapkan berdasarkan jumlah individu/m² (Meyer 1996). Faktor lingkungan yang diamati berupa pH tanah, C-organik, N-total, P-tersedia, dan K-dd.

Analisis data

Analisis ragam dengan uji lanjutan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf nyata 5% digunakan untuk melihat perbedaan populasi *Collembola* antar titik pengambilan sampel. Sedangkan analisis uji korelasi Pearson digunakan untuk melihat keterkaitan faktor lingkungan terhadap jenis *Collembola*. Keseluruhan analisis tersebut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Statistica 7*.

HASIL

Hasil penelitian dari 20 titik pengambilan sampel setiap bulan diperoleh 10.438 individu *Collembola*, yang terdiri atas 4 bangsa, 13 suku, dan 37 jenis. Diketahui rata-rata populasi *Collembola* sebanyak 544 individu/m².

Keanekaragaman jenis *Collembola*

Aktivitas pemeliharaan pada perkebunan kelapa sawit dapat mengakibatkan perbedaan komposisi masing-masing jenis *Collembola*. Pada setiap bulan, jenis *Onychiurid* sp. (*Onychiuridae*), dan *Isotomid* sp. 1 (*Isotomidae*) memiliki rata-rata jumlah individu yang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan *Isotomid* sp. 2 (*Isotomidae*), *Isotomid* sp. 3 (*Isotomidae*), *Entomobryid* sp. 6 (*Entomobryidae*), *Entomobryid* sp. 7 (*Entomobryidae*), dan *Chypoderid* sp. (*Chypoderidae*). Sedangkan, jenis *Isotomid* sp. 5 (*Isotomidae*) ditemukan dengan populasi tertinggi pada setiap bulannya dibandingkan dengan jenis yang lain (Tabel 1).

Fluktuasi kelimpahan *Collembola*

Hasil penelitian selama 6 bulan menunjukkan kelimpahan yang fluktuatif pada setiap daerah pengambilan sampel. Pada daerah pangkal pohon (0 cm), populasi *Collembola* mengalami peningkatan dari bulan April hingga Juni 2014. Namun, dari bulan Juli hingga September 2014 populasi *Collembola* terus menurun (Gambar 1A).

Rata-rata populasi *Collembola* di daerah piringan (120 cm) berfluktuasi dari bulan ke bulan. Populasi yang cukup tinggi ditemukan pada bulan April, lalu turun di bulan Mei, kemudian meningkat di bulan Juni dan mengalami puncak di bulan Juli. Namun populasinya terus mengalami

penurunan pada bulan-bulan berikutnya (Gambar 1B).

Pada daerah jalan produksi (240 cm), populasi *Collembola* pada bulan Juni jauh lebih tinggi daripada bulan-bulan lainnya (Gambar 1C). Sedangkan di daerah gawangan puncak populasi *Collembola* terjadi pada bulan April dan Juni 2014 (Gambar 1D).

Secara keseluruhan, kelimpahan rata-rata populasi *Collembola* pada pangkal pohon, yaitu 920 individu/m², daerah piringan 211 individu/m², jalan produksi 280 individu/m², dan gawangan kompos sebesar 763 individu/m². Berdasarkan uji lanjut Duncan, populasi *Collembola* pada daerah pangkal pohon dan gawangan kompos nyata lebih tinggi bila dibandingkan dengan daerah piringan dan daerah jalan produksi (Gambar 2). Hal tersebut mungkin terjadi sehubungan dengan kandungan C-organik dan ketersediaan N serta P yang cenderung lebih tinggi di daerah pangkal pohon dan gawangan (Tabel 2).

Hubungan faktor lingkungan terhadap jenis *Collembola*

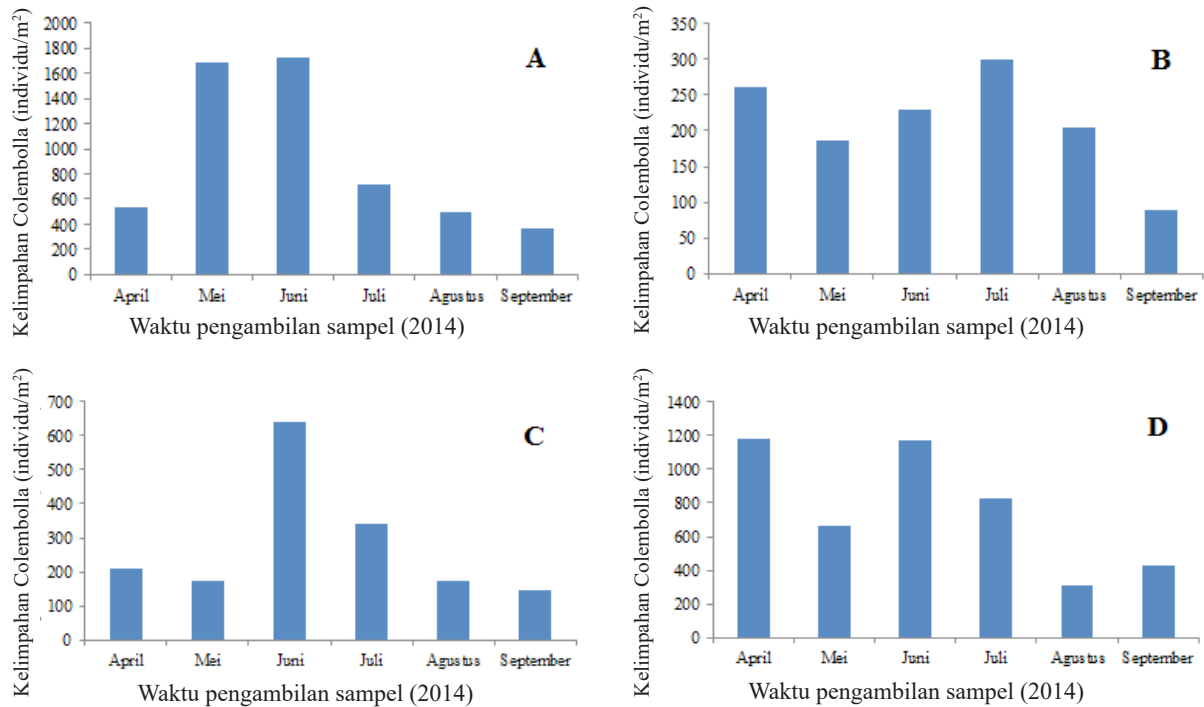
Curah hujan dan pH tanah mengalami fluktuasi nilai selama enam bulan pengamatan (Gambar 3). Hasil analisis uji korelasi Pearson menunjukkan hubungan beberapa jenis *Collembola* terhadap curah hujan dan nilai pH tanah. Tinggi atau rendahnya nilai curah hujan dan pH tanah, diduga dapat mempengaruhi populasi jenis *Collembola* tertentu dengan nilai korelasi yang berbeda (Tabel 3 dan 4).

PEMBAHASAN

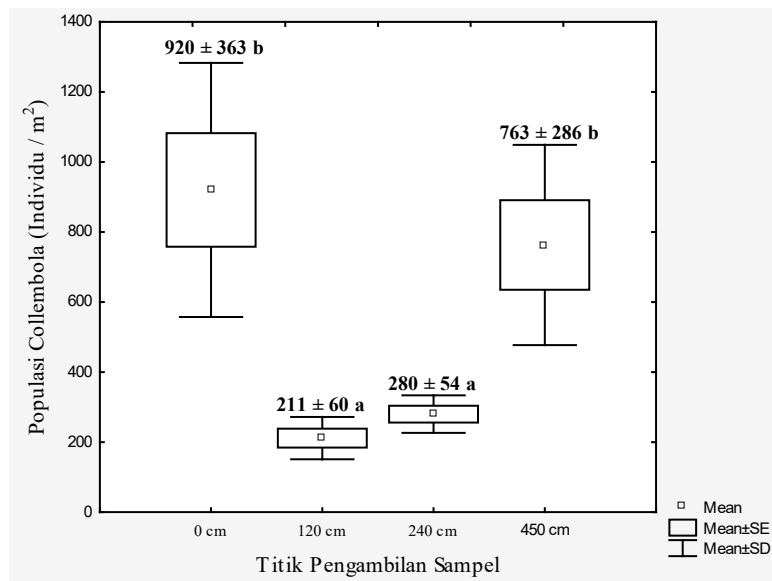
Suku *Entomobryidae* dan *Isotomidae* merupakan suku yang ditemukan sangat melimpah di setiap titik pada setiap bulannya. Suku *Entomobryidae* merupakan kelompok yang besar dan hidup aktif di permukaan tanah maupun serasah (Suhardjono et al. 2012). Sedangkan *isotomid* memiliki sebaran yang kosmopolit baik pada serasah maupun tanah, serta merupakan suku yang paling banyak ditemukan pada lima tipe habitat yang berbeda (Rahmadi et al. 2004; Widyawati 2008). Jenis *Isotomid* sp. 5 (*Isotomidae*) merupakan jenis yang ditemukan dengan jumlah tertinggi, bahkan lebih melimpah dibandingkan

Tabel 1. Tingkat rata-rata jenis populasi Collembola di semua titik pengamatan

Jenis	Rata-rata populasi (Individu/m ²)					
	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September
Hypogastruridae						
Hypogastrurid sp. 1	7	3	0	2	0	0
Hypogastrurid sp. 2	3	2	0	0	0	0
Neanuridae						
Neanurid sp. 1	1	0	1	1	1	0
Neanurid sp. 2	0	0	0	3	1	0
Neanurid sp. 3	2	0	0	0	0	0
Neanurid sp. 4	2	1	0	0	0	0
Neanurid sp. 5	2	0	1	1	1	3
Neanurid sp. 6	0	0	2	2	1	1
Onychiuridae						
Onychiurid sp.	24	47	14	13	12	6
Isotomidae						
Isotomid sp. 1	46	18	2	4	1	0
Isotomid sp. 2	40	75	186	98	46	25
Isotomid sp. 3	31	60	193	37	7	5
Isotomid sp. 4	7	0	4	4	12	7
Isotomid sp. 5	184	318	318	227	115	57
Isotomid sp. 6	5	0	2	1	0	2
Isotomid sp. 7	2	0	0	0	0	0
Isotomid sp. 8	1	2	0	0	0	0
Entomobryidae						
Entomobryid sp. 1	4	2	10	7	5	7
Entomobryid sp. 2	18	1	8	11	7	10
Entomobryid sp. 3	14	3	15	3	7	3
Entomobryid sp. 4	1	0	1	0	0	2
Entomobryid sp. 5	15	3	6	0	0	1
Entomobryid sp. 6	21	63	58	33	25	63
Entomobryid sp. 7	14	41	32	22	9	13
Entomobryid sp. 8	33	1	1	7	4	4
Paronellidae						
Paronellid sp. 1	1	0	0	1	1	1
Paronellid sp. 2	0	0	1	1	1	0
Paronellid sp. 3	1	0	0	2	0	0
Paronellid sp. 4	0	0	1	2	0	1
Cyphoderidae						
Cyphoderid sp.	30	28	60	42	29	43
Oncopoduridae						
Oncopodurid sp.	1	0	0	0	0	0
Tomoceridae						
Tomocerid sp. 1	2	0	1	1	0	0
Tomocerid sp. 2	2	0	5	2	1	0
Sminthuridae						
Sminthurid sp.	1	1	0	0	0	0
Sminthurid sp.	1	0	0	0	0	0
Dicyrtomidae						
Dicyrtomid sp.	13	7	15	16	8	2
Neelidae						
Neelid sp.	8	2	3	1	2	1



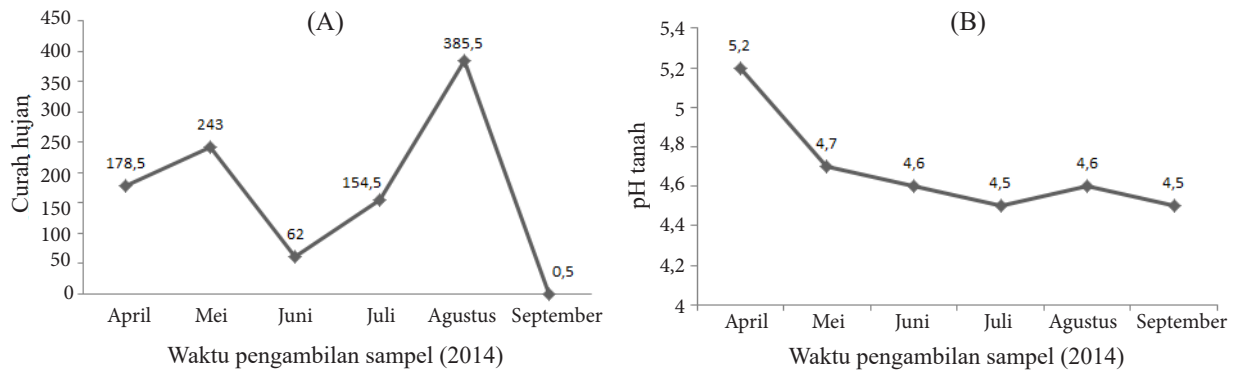
Gambar 1. Fluktuasi kelimpahan Collembola. A: daerah pangkal pohon (0 cm); B: daerah piringan (120 cm); C: daerah jalan produksi (240 cm); dan D: daerah gawangan.



Gambar 2. Perbandingan kelimpahan Collembola setiap titik pengambilan sampel. Huruf berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata (Uji Duncan pada taraf kepercayaan 95%).

Tabel 2. Hasil analisis kimia tanah setiap titik pengambilan sampel

Parameter	Titik pengambilan sampel			
	0 cm	120 cm	240 cm	Gawangan
C-organik (%)	2,89	2,38	2,87	3,06
N-total (%)	0,23	0,21	0,22	0,23
P-tersedia (ppm)	36,5	34,1	36,2	39,5
K-dd (me/100g)	0,2	0,2	0,1	0,1



Gambar 3. Curah hujan (A) dan pH tanah (B) setiap bulan pengambilan sampel (Sumber data curah hujan: Perkebunan Cikasungka, Cigudeg, Bogor, Jawa Barat).

Tabel 3. Hubungan perbedaan curah hujan tanah terhadap jenis Collembola tertentu

Jenis	Curah hujan (nilai korelasi)
Neanurid sp. 1 (Neanuridae)	-0,73
Entomobryid sp. 4 (Entomobryidae)	0,74
Cyphoderid sp. (Cyphoderidae)	0,74

Tabel 4. Hubungan perbedaan nilai pH tanah terhadap jenis Collembola tertentu

Jenis	pH tanah (nilai korelasi)
Hypogastrurid sp. 1 (Hypogastruridae)	0,92
Hypogastrurid sp. 2 (Hypogastruridae)	0,94
Neanurid sp. 3 (Neanuridae)	0,91
Neanurid sp. 4 (Neanuridae)	0,93
Neanurid sp. 6 (Neanuridae)	-0,71
Isotomid sp. 1 (Isotomidae)	0,97
Isotomid sp. 7 (Isotomidae)	0,94
Isotomid sp. 8 (Isotomidae)	0,74
Entomobryid sp. 5 (Entomobryidae)	0,92
Entomobryid sp. 8 (Entomobryidae)	0,87
Oncopodurid sp. (Oncopoduridae)	0,94
Sminthurid sp. (Sminthuridae)	0,75
Sminthurid sp. (Sminthuridae)	0,94
Neelid sp. (Neelidae)	0,93

dengan Entomobryid sp. 6 dan 7 (Entomobryidae). Hal tersebut terjadi diduga karena Isotomid sp. 5 (Isotomidae) lebih mudah beradaptasi dengan lingkungan sehingga dapat berkembang biak dengan cepat, sedangkan kedua jenis entomobryid yang diamati diduga memiliki mobilitas yang

tinggi dalam menghindari gangguan ketika dilakukan pencuplikan sampel tanah.

Collembola yang didapatkan di daerah pangkal pohon pada bulan Mei dan Juni populasinya lebih tinggi dibandingkan dengan bulan lainnya. Pada kedua bulan tersebut jatuhnya serasah nampak tidak dibersihkan sehingga kondisi tanah lembab dan sumber makanan melimpah. Tingginya bahan organik merupakan sumber pakan yang melimpah dan dapat membuat kondisi iklim mikro yang sesuai dengan kehidupan Collembola (Choudhuri & Roy 1972; Nurtjahya et al. 2007). Berbeda halnya dengan bulan September, sedikitnya serasah dan rendahnya curah hujan mengakibatkan populasi Collembola menurun.

Pada daerah piringan, penurunan rata-rata populasi di bulan Mei diduga karena daerah tersebut sedang diberi kapur. Besar kemungkinan pemberian kapur memberikan dampak negatif bagi Collembola. Selain itu, pada saat curah hujan sangat tinggi (bulan Agustus) dan sangat rendah (bulan September) juga terjadi penurunan populasi. Pada kondisi yang kurang menguntungkan bagi hidupnya, Collembola akan masuk kedalam lapisan bawah yang lebih dalam (Suhardjono et al. 2012).

Peningkatan populasi Collembola di daerah jalan produksi pada bulan Juni terjadi karena adanya peningkatan pertumbuhan rumput. Dengan lebatnya rumput memungkinkan adanya akumulasi serasah dan sumber makanan yang dapat memberikan kenyamanan habitat bagi Collembola. Hal ini sejalan dengan penelitian Chang et al. (2013) bahwa peningkatan pertumbuhan tanaman kacang tanah secara signifikan meningkatkan densitas dan kekayaan spesies Collembola.

Pada gawangan kompos terjadi penurunan populasi ketika dilakukan tindakan pemeliharaan

berupa pengurangan tumpukan gawangan kompos dan penumpukan pelepah baru pada bulan Mei dan Juli. Penurunan populasi juga terjadi pada bulan Agustus dan September. Pada bulan Agustus, curah hujan yang tinggi mengakibatkan kondisi iklim yang terlalu lembab dan sebagian pori tanah terisi air. Sedangkan pada bulan September kondisinya terlalu kering karena curah hujan sangat rendah. Jenis Collembola tertentu diduga kurang dapat beradaptasi dengan kondisi-kondisi ekstrem tersebut. Widiarta et al. (2006) mengemukakan bahwa kelembaban dan temperatur tanah dapat mempengaruhi kepadatan dan taksa Arthropoda tanah (terutama Collembola).

Hasil uji lanjut Duncan menyatakan bahwa populasi Collembola pada daerah pangkal pohon dan gawangan kompos nyata lebih tinggi dibandingkan dengan daerah piringan dan jalan produksi. Hal tersebut terjadi diduga karena pada daerah pangkal pohon ini tertampung jatuhnya serasah yang berasal dari sela-sela pelepah pohon yang telah dipangkas, dan juga tidak ada gangguan sama sekali. Fujii & Takeda (2012) menyatakan bahwa kelimpahan dan biomassa arthropod tanah (terutama Collembola) yang terlibat dengan dekomposisi akar (daerah pangkal pohon) jumlahnya lebih tinggi dibandingkan dengan yang terlibat proses dekomposisi daun, sedangkan pada daerah piringan dan jalan produksi terjadi pemadatan tanah yang mengakibatkan gangguan respirasi dan aktivitas mikroorganisme. Lee et al. (2009) menyatakan bahwa pemadatan tanah akan mengganggu proses respirasi tanah, aktivitas mikroorganisme, dan dekomposisi bahan organik sehingga dapat menurunkan populasi dan keanekaragaman Collembola.

Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi curah hujan yang ekstrem dapat mempengaruhi habitat Collembola. Beberapa jenis Collembola peka terhadap kelembaban tanah (basah maupun kering) sehingga mempengaruhi proses migrasi, komposisi, dan populasi masing-masing jenis (Detsis 2000; Imler 2004).

Selain curah hujan, perubahan pH juga relatif mempengaruhi jenis Collembola tertentu. Berdasarkan penelitian ini terdapat rentang pH yang sesuai dengan kondisi hidup beberapa jenis Collembola, yaitu pada nilai pH tanah 4,6–4,8. Greenslade & Vaughan (2003) menyatakan bahwa pH tanah merupakan salah satu faktor abiotik yang

mempengaruhi kepadatan dan keanekaragaman Collembola. Coleman et al. (2004) mengemukakan bahwa Collembola merupakan mesofauna yang memiliki populasi tinggi pada pH tanah yang agak masam. Adanya hubungan jenis Collembola tertentu dengan curah hujan dan nilai pH tanah menunjukkan bahwa kehidupan beberapa jenis tersebut dipengaruhi oleh perubahan lingkungan. Menurut Zayadi et al. (2013), perbedaan struktur komunitas arthropod tanah, seperti Collembola dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti kelembaban, temperatur, pH tanah, C/N, dan bahan organik tanah.

KESIMPULAN

Keanekaragaman Collembola yang didapatkan ada 37 jenis dari 10.438 individu. Terdapat fluktuasi kelimpahan Collembola disetiap titik pada bulan pengambilan sampel (April–September 2014) yang berbeda dari 4 titik yang diamati. Curah hujan dan pH tanah memiliki hubungan yang positif dengan sebagian besar jenis Collembola. Sehingga aktivitas budi daya dan faktor lingkungan sangat mempengaruhi Collembola.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak PTPN VIII Cikasungka, Bogor. Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Pendidikan Tinggi (Dikti), Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, melalui program Beasiswa Unggulan (BU).

DAFTAR PUSTAKA

- Agus YH. 2007. *Keanekaragaman Collembola, Semut, dan Laba-laba Permukaan Tanah pada Empat Tipe Penggunaan Lahan*. Disertasi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Chang L, Wu H, Wu D, Sun X. 2013. Effect of tillage and farming management on Collembola in Marsh Soils. *Applied Soil Ecology* 64:112–117. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.11.007>.
- Choudhuri DK, Roy S. 1972. An ecological study on Collembola of West Bengal (India). *Records of The Zoological Survey India* 66:81–101.

- Coleman DC, Crossley Jr DA, and Hendrix PF. 2004. *Fundamentals of Soil Ecology*. London: Academic Pr.
- Culliney TW. 2013. Role of arthropods in maintaining soil fertility. *Agriculture* 3:629–659. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture3040629>.
- Culik MP, de Souza JL, Ventura JA. 2002. Biodiversity of Collembola in tropical agricultural environments of Espirito Santo, Brazil. *Applied Soil Ecology* 21:49–58. doi: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(02\)00048-3](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(02)00048-3).
- Detsis V. 2000. Vertical distribution of Collembola in deciduous forest under Mediterranean climatic conditions. *Belgian Journal of Zoology* 130:55–59.
- Fatimah, Cholik E, Suhardjono YR. 2012. Collembola permukaan tanah kebun karet, Lampung. *Zoo Indonesia* 21:17–22.
- Fujii S, Takeda H. 2012. Succession of Collembolan communities during decomposition of leaf and root litter: effects of litter type and position. *Soil Biology and Biochem* 54:77–87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.021>.
- Greenslade P, Vaughan GT. 2003. A comparison of Collembola species for toxicity testing of Australian soils. *Pedobiologia* 47:171–179. doi: <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00180>.
- Greenslade PJM, Reid IA, Packer IJ. 2010. Herbicides have negligible effects on ants and springtails in an Australian wheat field. *Soil Biology Biochemistry* 42:1172–1175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.03.009>.
- Imler U. 2004. Long-term fluctuation of soil fauna (Collembola and Oribatida) as Ground Water-Near Side in an Alder Wood. *Pedobiologia* 48:349–363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2004.04.001>.
- Lee YF, Kuo YM, Lu SS, Chen DY, Jean HJ, Chao JT. 2009. Trampling, litter removal, and variation in the composition and relative abundance of soil Arthropods in a subtropical hardwood forest. *Zoological Studies* 48:163–173.
- Meyer E. 1996. Endogeic macrofauna. In: Schinner F, Ohlinger R, Kandeler E, Margesin R (Eds.), *Methods in Soil Biology*. Berlin: Springer-Verla. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-60966-4_24.
- Nurtjahya E, Setiadi D, Guhardja E, Muhadiono, Setiadi Y. 2007. Populasi Collembola di lahan revegetasi timah di Pulau Bangka. *Biodiversitas* 4:309–313.
- Rahmadi C, Suhardjono YR. 2003. Keanekaragaman Arthropoda tanah di lantai hutan kawasan hulu Sungai Katingan Kalimantan Tengah. *Berita Biologi* 6:549–554.
- Rahmadi C, Suhardjono YR, Andayani I. 2004. Collembola lantai hutan di kawasan hulu Sungai Tabalong Kalimantan Selatan. *Biota* 9:179–185.
- Suhardjono YR. 2002. Keanekaragaman fauna tanah di Cikaniki, Taman Nasional gunung Halimun. *Research and Conservation of Biodiversity in Indonesia* 9:34–43.
- Suhardjono YR, Deharveng L, Bedos A. 2012. *Collembola (Ekorpegas)*. Bogor: Vegamedia.
- Widiarta IN, Kusdianan D, Suprihanto. 2006. Keragaman arthropoda pada padi sawah dengan pengolahan tanaman terpadu. *Jurnal HPT Tropika* 6:61–69.
- Widyastuti R. 2004. Abundance, biomass, and diversity of soil fauna at different ecosystems in Jakenan, Pati, Central Java. *Jurnal Tanah Lingkungan* 6:1–6.
- Widyastuti R. 2005. Population dynamics of Microarthropods (Oribatida and Collembola) in rainfed paddy field ecosystem in Pati, Central Java. *Jurnal Tanah Lingkungan* 7:11–14.
- Widyawati IT. 2008. *Komunitas Collembola Permukaan Tanah Pada Lima Tipe Habitat Di Kawasan Telaga Warna Kabupaten Bogor Dan Cianjur*. Tesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Wolters V. 1998. Functional aspect of animal diversity in soil introduction and overview. *Applied Soil Ecology* 10:185–190.
- Zayadi H, Hakim L, Leksono AS. 2013. Composition and diversity of soil Arthropods of Rajegwesi Meru Betiri National Park. *Journal of Tropical Life Science* 3:166–171. doi: <https://doi.org/10.11594/jtls.03.03.04>.