



Pengaruh Konversi Lahan Terhadap Komunitas Collembola di Area Tailling dan Perkebunan

(Effect of Land Conversion on Collembola Community in Tailling and Plantation Areas)

Srihartati Harto^{1*}, Musyafa², & Puradyatmika³

¹Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Papua, Manokwari, 98314

²Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281

³Laboratorium Biodiversity, Departemen Lingkungan PT. Freeport Indonesia, Timika

*Email : srihartatiharto@gmail.com

ABSTRACT

The forests of Papua are large enough to support a diverse range of flora and fauna and other natural resources such as mining materials. PT-Freeport Indonesia, one of the world's largest mining companies, has an ex-mining area (tailing) managed as a reclamation area. Regular biotic and abiotic factor interactions will aid in the success of reclamation efforts. Soil organisms, which act as decomposers, are biotic factors that contribute to soil fertility and bioindicator. Collembola is a soil microorganism that is very important in marginal soils and can help soil fertility naturally. This study aims to assess the differences between the Collembola communities in the tailings and plantation areas. The method employs a literature review, which refers to a literature review, and it uses secondary data from the PT-Freeport Indonesia Biodiversity and Reclamation Sub Division. Collembola population and diversity are classified as low in the tailings area, presumably due to limiting factors for the sub-alpine and alpine ecosystem types, making it longer. Unlike in the tailing area, the Collembola population and diversity are classified as moderate to high in the plantation area because of litter availability as a source of nutrients for Collembola activities.

KEYWORDS: Collembola, tailings area, plantation area, Papua

INTISARI

Hutan Papua yang cukup luas mendukung tingkat keanekaragaman hayati flora dan fauna, bahkan sumberdaya alam lainnya seperti bahan tambang. Salah satu perusahaan tambang terbesar di dunia, PT. Freeport Indonesia memiliki area bekas tambang (tailing) yang dikelola menjadi lahan reklamasi. Terjadinya interaksi faktor biotik dan abiotik yang normal akan mendukung keberhasilan upaya reklamasi. Organisme tanah merupakan satu diantara faktor biotik yang memberikan kontribusi menjaga kesuburan tanah, dengan berfungsi sebagai decomposer dan bioindikator. Collembola adalah mikroorganisme tanah yang sangat penting keberadaannya pada tanah marginal, secara alami dapat membantu kesuburan tanah. Kajian ini merupakan ulasan yang bertujuan untuk mengevaluasi perbedaan komunitas Collembola, di lahan tailing dan area perkebunan. Metode yang digunakan adalah kajian pustaka yang mengacu pada kajian pustaka dan menggunakan data sekunder Sub Divisi Biodiversity & Reklamasi PT. Freeport Indonesia. Populasi dan keanekaragaman Collembola pada area tailing tergolong rendah diduga karena faktor pembatas tipe ekosistem sub alpine dan alpine, sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama. Berbeda halnya dengan di area perkebunan, populasi dan keanekaragaman Collembola tergolong sedang hingga tinggi, karena dipicu ketersediaan serasah sebagai sumber hara aktivitas Collembola

KATA KUNCI : Collembola, area tailing, area perkebunan

PENDAHULUAN

Tanah hutan merupakan habitat alami berbagai jenis makhluk hidup, diantaranya organisme tanah yang kehidupannya memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem hutan. Collembola termasuk mesofauna tanah berukuran panjang tubuh 100 μm - <2 mm (George et al., 2017; Kartanto et al., 2011; Zhu et al., 2013). (Barrios, 2007; George et al., 2017; Santi et al., 2019) mengemukakan bahwa mesofauna merupakan komponen utama komunitas biologi tanah dan memainkan peran penting dalam menjaga kualitas tanah dan berbagai fungsi ekosistem. Invertebrata tanah ini mendukung dekomposisi, siklus hara, dan pembentukan tanah, yang memfasilitasi pasokan air dan mengatur erosi dan iklim lokal (Barrios, 2007; Hilwan & Handayani, 2013; Lavelle et al., 2006). Acari dan Collembola merupakan kelompok mesofauna yang paling melimpah (George et al., 2017; Kartanto et al., 2011). Selanjutnya diketahui Sub ordo Acari, Oribatid dan Mesostigmata (Collembola) adalah kelompok yang paling banyak, melimpah dan beragam di sebagian besar tanah yang tidak terganggu (Battigelli, 2011; Buch et al., 2021; Doran & Zeiss, 2000).

Terganggunya keberadaan mesofauna tanah merupakan salah satu akibat dari konversi lahan. Bentuk konversi beraneka ragam disesuaikan dengan tujuannya sebagai lahan tambang, pertanian dan perkebunan, perikanan, pemukiman, dan jalur transportasi. Pembukaan wilayah tambang ditahun 2002 seluas 11,4 juta hektar dari total luasan hutan Indonesia 98 juta hektar (Hilwan & Handayani, 2013). Tiga fungsi hutan yaitu produksi, proteksi dan konservasi akan terganggu dan berdampak pada kehidupan organisme yang ada didalamnya. Oleh karenanya perusahaan tambang wajib melakukan revegetasi lahan agar mengurangi kerusakan ekosistem.

Aktivitas pertambangan selain menghasilkan zat toksik, dapat pula menyebabkan terbukanya tajuk yang mempengaruhi berkurangnya lapisan tanah subur atau membawa serasah sebagai penyimpan unsur hara saat terjadinya hujan. Keberlangsungan hidup Collembola dipengaruhi faktor fisik kimia yaitu suhu, kelembaban, habitat, zat toksik/pencemar dan iklim. (Kuznetsova et al., 2018; Zhu et al., 2013). Bila dibandingkan dengan area pertambangan, kondisi area perkebunan lebih menyediakan sumber pakan bagi Collembola karena memiliki kandungan serasah yang cukup tinggi. (George et al., 2017; Kuznetsova et al., 2018) mengemukakan faktor edafik yakni kelembaban tanah yang tinggi, jenis tanaman hortikultura, kemudahan dekomposisi serasah merupakan faktor yang mendukung kehadiran Collembola. Tujuan kajian ini adalah membandingkan keanekaragaman Collembola pada area tambang dan area perkebunan.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam ulasan ini adalah kajian pustaka dan data sekunder dalam bentuk data kuantitatif dan kualitatif. Pengumpulan data didasarkan pada studi kasus didalam jurnal referensi dan laporan hasil kegiatan pemantauan Sub Divisi Biodiversity dan Reklamasi, Divisi Lingkungan PT. Freeport Indonesia. Variabel kualitatif dalam tulisan ini adalah keanekaragaman; variabel kuantitatif meliputi jumlah individu, dominansi, dan kepadatan. Analisis data dilakukan secara deskriptif dan ditampilkan dalam bentuk Tabel dan Gambar.

Bahan kajian dalam ulasan ini bersumber pada 3 jurnal referensi area perkebunan yang dipublikasikan 4 tahun terakhir. (1). Studi kelimpahan dan pola sebaran Collembola pada tiga tipe penggunaan lahan di Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan (Trianto & Marisa, 2020). Permasalahannya adalah pembukaan lahan dapat menurunkan kualitas tanah dan mengganggu kehidupan organisme tanah; tujuannya mempelajari kelimpahan dan pola sebaran Collembola pada tiga tipe penggunaan lahan. Penelitian ini menunjukkan penggunaan lahan untuk perkebunan kelapa sawit keberadaan Collembola lebih tinggi dibanding Kelola lahan lainnya dan secara keseluruhan pola sebarannya mengelompok. (2). Karakter Komunitas Arthropoda Sebagai Konsekuensi Alih Fungsi Lahan Di Kawasan Sekitar Situ Cisanti (Awaludin, Rizki and Kandyarucita, Galuh and Amadea, Allegra Phelia and Vanya, Katherine and Setyaningrum, 2019). Permasalahannya adalah alih fungsi lahan untuk kebun teh dan ladang, gangguan perambahan menyebabkan perubahan diversitas ekosistem khususnya relung arthropoda sebagai bioindikator kondisi lingkungan; tujuannya membandingkan keanekaragaman dan komposisi feeding guild feeding guild arthropoda antara hutan homogen pinus, ladang dan kebun teh. Indeks keanekaragaman dan komposisi feeding guild yang rendah pada ladang dan kebun teh menunjukkan kegiatan ini berdampak buruk bagi komunitas arthropoda. (3). Keanekaragaman Collembola dan Serangga Permukaan tanah Di Berbagai Umur Perkebunan Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq) (Putri et al., 2019). Dalam penelitian ini yang menjadi masalah adalah alih fungsi hutan menjadi lahan perkebunan sawit menyebabkan perubahan sifat kimia tanah yang berdampak pada kehidupan organisme tanah. Adapun tujuannya mengetahui keanekaragaman Collembola dan serangga permukaan tanah sebagai indikator kesuburan tanah pada perkebunan kelapa sawit. Penelitian ini menunjukkan keberadaan Collembola dipengaruhi faktor lingkungan tanah, misalnya peningkatan suhu tanah meningkatkan keanekaragaman Collembola sedangkan peningkatan populasi Collembola menurunkan kandungan C-organik karena dimanfaatkan oleh organisme tanah.

Tiga jurnal referensi area tambang yang dipublikasikan 9 tahun terakhir yaitu (1). Keanekaragaman Mesofauna dan Makrofauna Tanah Pada Areal Bekas Tambang Timah Di Kabupaten Belitung Provinsi Kepulauan Bangka Belitung (Hilwan & Handayani, 2013).

Permasalahannya adalah aktivitas pertambangan dapat menyebabkan terdegradasinya sumberdaya hutan dan lingkungan, dan kepadatan populasi organisme tanah ditentukan oleh faktor lingkungan abiotik dan biotik. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui keanekaragaman mesofauna dan makrofauna tanah dan menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi keberadaan jenisnya pada berbagai usia lahan pasca tambang timah di Kabupaten Belitung. Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin lama lahan dibiarkan atau tidak ditambang dan tidak ada gangguan lainnya yang berarti, juga

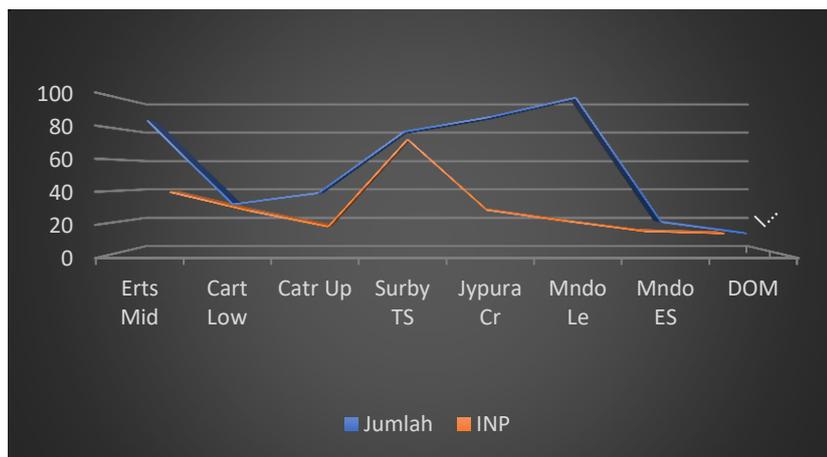
vegetasi telah tumbuh di atasnya sudah menyerupai hutan maka jumlah spesies dan kelimpahan individu fauna tanah akan meningkat; (2). *Exploring The World Beneath Your Feet Soil Mesofauna as Potential Biological Indicators of Success In Reclaimed Soils* (Battigelli, 2011). Permasalahan yang dikemukakan yaitu organisme tanah merespon dengan cepat terhadap perubahan habitat tanah akibat adanya gangguan aktivitas. Tujuan penelitian adalah untuk membandingkan komunitas mesofauna tanah antara kondisi tanah alami dan tanah dari kegiatan reklamasi sehingga menentukan data dasar bagi pemantauan jangka panjang. Kepadatan komunitas mesofauna tanah berkurang pada tanah area reklamasi bila dibandingkan dengan yang ada di tanah alami, karena pemeliharaan kualitas dan kuantitas tanah menjamin fungsi pendukung kehidupan tanah tanah; (3). *Inventarisasi Mesofauna di Daerah Reklamasi PT. Freeport Indonesia Timika Papua (Wamafma S; Puradyatmika P, 2009)*. Permasalahan dalam penelitian ini yaitu salah satu indikator keberhasilan reklamasi secara biotik menggunakan mesofauna belum dilakukan. Tujuan penelitian untuk mengidentifikasi jenis dan mengetahui komposisi jenis mesofauna yang ada pada daerah reklamasi Grasberg dan daerah suksesi alami Ertsberg. Colembolla ada pada lahan reklamasi dan area suksesi alami mengindikasikan pemulihan lingkungan telah terjadi dan sebagai bagian dari bentuk interaksi antara organisme tanah dan tumbuhan di atasnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Collembola di area tailing

Hasil identifikasi pada tujuh area reklamasi dan satu area kontrol ditemukan 15 famili fauna tanah yang bersimbiosis dengan spesies tumbuhan untuk membentuk ekosistem di Ertsberg Middle dan Grashberg, lokasi penelitian lihat **Gambar 1**. Khususnya fauna tanah ordo Collembola merupakan salah satu jenis yang berjumlah banyak dibanding beberapa jenis lainnya, yang termasuk dalam ordo ini adalah famili Isotomidae dan Neelidae. Kepadatan populasi fauna tanah disetiap area reklamasi didasarkan pada luasan 1.125 cm², pada area reklamasi Menado Leach ditemukan 2 jenis famili yang jumlah individunya lebih tinggi dibandingkan jenis lain yaitu Simulidae berjumlah 196 individu; ordo Collembola famili Isotomidae 98 individu dan Neelidae 97 individu.

Kondisi iklim mikro pada area reklamasi, area suksesi alami dan area kontrol DOM berbeda, Erstberg Middle, Cartenz Lower dan DOM termasuk tipe ekosistem sub alpine, Cartenz Upper merupakan peralihan sub alpine ke alpine; sedangkan area lainnya adalah termasuk ekosistem alpine. Jenis vegetasi didominasi Graminoid Herbs, oleh karena area ini terletak pada ketinggian 1900-3850 m dpl cuaca umumnya basah dan dingin dengan suhu 22°C. (Wamafma S; Puradyatmika P, 2009). Pada enam area reklamasi, satu area suksesi alami dan area kontrol jumlah collembola bervariasi dan ditemukan hampir di setiap lokasi pengamatan walaupun dalam jumlah yang lebih sedikit; dibanding serangga lain yang kadang tidak ditemukan di lokasi tertentu. (lihat **Gambar 2**).



Gambar 2. Jumlah individu dan Indeks Nilai Penting Collembola

Pada area suksesi alami Erstberg Middle INP 38,71%, area reklamasi Surabaya Tire Shop INP 74,04% lebih tinggi dari area kontrol (DOM) 11,02%. Indeks Nilai Penting (INP) menjelaskan kondisi kerapatan relatif, frekuensi relatif dan dominansi relatif individu per satuan luasan; nilai tersebut lebih rendah pada lahan kontrol dibandingkan keseluruhan area pengamatan lainnya yaitu 6 area reklamasi dan 1 area suksesi alami (Erstberg Middle). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi tanah dan serasah pada area kontrol kurang mendukung pertumbuhan dan perkembangan collembola. (lihat **Gambar 3**).

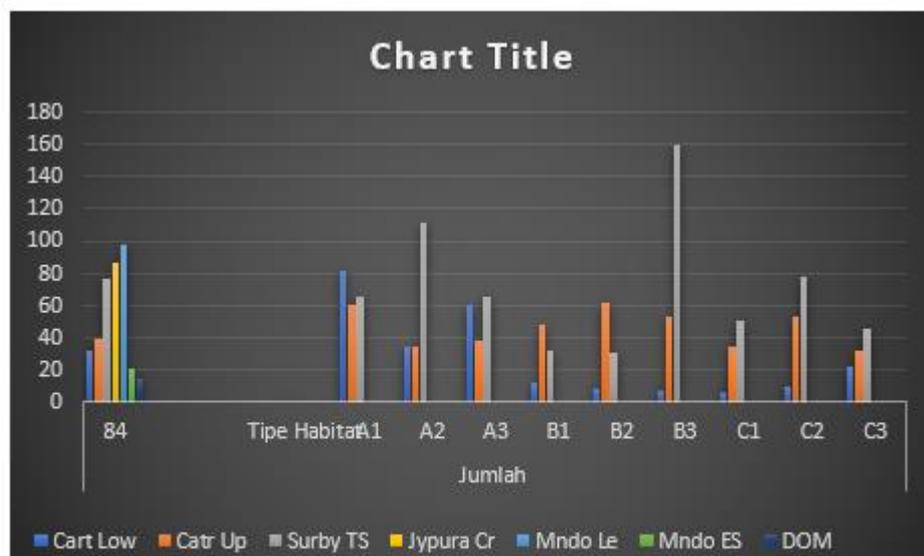


Gambar 3. Area Kontrol DOM (sumber : Tim Keanekaragamanhayati PT. Freeport)

Tindakan reklamasi yang merupakan bagian dari dampak konversi lahan ternyata memberikan sumbangan habitat yang baik bagi spesies collembola; spesies pohon dapat mempengaruhi kerapatan Collembola (Baumbrough, 1999). Khususnya pada 6 area reklamasi di Grashberg, lahan telah dikelola dengan perlakuan pemberian unsur hara, melalui penambahan topsoil dan juga perlakuan pemupukan saat melakukan penanaman tumbuhan. Collembola membutuhkan sumber energi untuk aktivitas dan kelangsungan hidupnya melalui bahan makanan yang berasal dari perlakuan pemupukan dan penambahan topsoil. (Battigelli, 2011) menyatakan bahwa kombinasi beberapa faktor yaitu tutupan vegetatif, jenis tanah, kelembaban, suhu, status nutrisi, dapat mempengaruhi kepadatan dan keanekaragaman collembola di habitat tertentu dengan kepentingan relatif dari setiap faktor yang bervariasi untuk setiap spesies. Faktor waktu yakni lamanya lahan bekas tambang timah dibiarkan tidak terganggu lagi yang secara langsung terkait dengan perkembangan vegetasi di atasnya serta perubahan sifat fisik dan kimia tanah, sangat menentukan tingkat keanekaragaman jenis mesofauna dan makrofauna (Hilwan & Handayani, 2013). Collembola sebagai bioindikator keadaan tanah karena organisme ini sangat sensitif terhadap perubahan habitat baik secara struktur maupun fungsi komunitas (Trianto & Marisa, 2020).

Hasil penelitian (Wamafma S; Puradyatmika P, 2009) menemukan 4 famili dengan 1 famili Entomobryidae sebagai tambahan, dimana jumlah individu ditemukan adalah 7 individu disetiap area pengamatan dari 8 area pengamatan, yang mana sebelumnya ditahun 2008 hanya 3 famili ditemukan yaitu Isotomidae Neelidae dan Onychiuridae. Keseluruhan jumlah individu mesofauna meningkat dalam 1 tahun, dari total individu 1.343 ditahun 2008 menjadi 1.477 individu tahun 2009, khusus Collembola jumlah awal 385 individu menjadi 553 individu. Secara individu jumlah Collembola meningkat namun demikian bila ditinjau dari nilai kepadatan dan kehadirannya antar famili masih tergolong rendah, nilai kepadatan Neelidae 24,37% dan Isotomidae 23,90%. Artinya keanekaragaman jenisnya masih rendah dalam suatu luasan dibandingkan dengan jenis yang lain, kepadatan tinggi apabila terdapat banyak jenis dan masing-masing jenis terdiri dari jumlah individu yang besar.

(Trianto & Marisa, 2020) menyatakan bahwa pada 3 tipe penggunaan lahan, Collembola dikategorikan melimpah baik pada tipe hutan sekunder; perkebunan karet dan perkebunan kelapa sawit dengan nilai keanekaragamannya sedang. Berbeda dengan area tambang kategori kelimpahan individunya sedang dengan keanekaragaman rendah. Jumlah individu Collembola di area tambang Erstberg Grashberg Timika Papua dan tiga tipe penggunaan lahan di Banjar Kalimantan Selatan ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Jumlah individu Collembola di Area Tambang dan Tiga Tipe Penggunaan lahan

Collembola di area perkebunan

Hasil penelitian (Trianto & Marisa, 2020) menemukan 6 famili Collembola yaitu Entomobryidae, Isotomidae, Cyphoderidae, Paronellidae, Oncopoduridae, dan Dicyrtomidae dari 12 genus dengan total individu 1286. Kelimpahan jenis tertinggi pada habitat perkebunan kelapa sawit dan terendah pada habitat hutan sekunder. Lihat tabel 2 berikut ini.

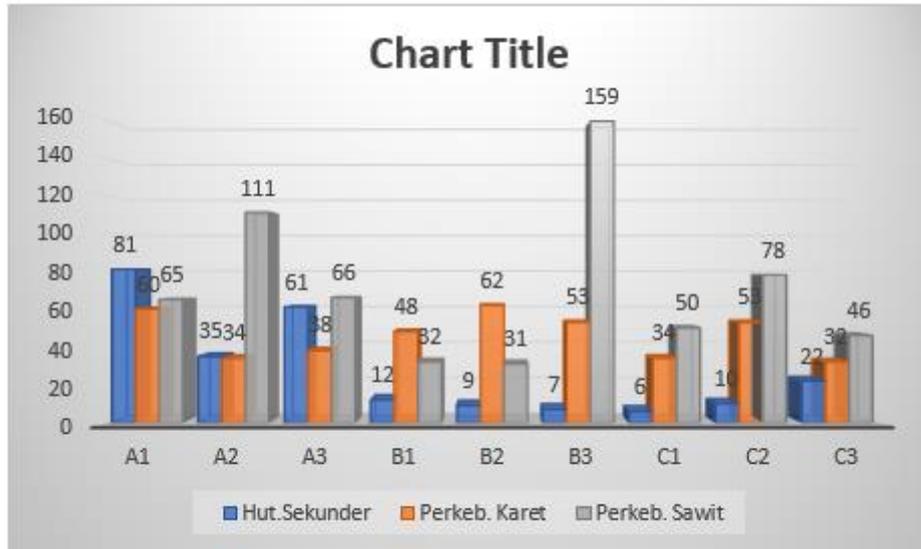
Tabel 2. Kelimpahan jenis Collembola permukaan tanah pada tiga tipe penggunaan lahan

No.	Tipe Habitat	Tipe Habitat									Total
		A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	
1	Hutan Sekunder	81	35	61	12	9	7	6	10	22	243
2	Perkebunan Karet	60	34	38	48	62	53	34	53	32	414
3	Perkebunan Kelapa Sawit	65	111	66	32	31	159	50	78	46	638
Total											1286

Sumber : Hasil Olah Data (Trianto & Marisa, 2020)

Tingginya Collembola pada perkebunan kelapa sawit diduga karena tingginya kandungan lignin pada daun kelapa sawit akan berpengaruh pada lajunya proses dekomposisi serasah sehingga diperlukan organisme decomposer yang lebih banyak. Hal ini didukung oleh hasil

penelitian (Oktavianti et al., 2018) bahwa tanah yang banyak terdapat serasah akan menyebabkan Collembola menjadi aktif melakukan proses penguraian menjadi humus.



Gambar 5. Jumlah Individu Collembola di area Perkebunan dan Hutan Sekunder

Lahan perkebunan merupakan habitat yang baik bagi perkembangan Collembola sehingga ditemukan dalam jumlah individu yang melimpah dan juga keanekaragaman jenis termasuk kategori sedang. (Santi et al., 2019) menyatakan jumlah Collembola lebih banyak ditemukan pada lahan perkebunan lada dibandingkan jumlah Acarina, kepadatan Collembola 84,5% dan kepadatan Acari . 15,5%. Jumlah Collembola lebih tinggi karena Collembola mampu bertahan pada berbagai jenis kondisi tanah dan Collembola terdiri dari banyak spesies. Populasi collembola beragam dan melimpah ke berbagai jenis tanah karena Collembola memiliki banyak spesies yang berbeda, sedangkan dilihat dari tipe habitatnya, Collembola dapat hidup pada habitat vegetasi, tajuk pohon, di dalam tanah, dan permukaan serasah (Cahyani, Kurnia and Aminatun, Tien and Putra, 2017; Haryoko, Wendy and Jati, A Wibowo Nugroho and Yuda, 2020; Husamah et al., 2015).

(Niwangtika & Ibrohim, 2017) pada perkebunan Apel Kota Batu menemukan 11 spesies Collembola yang berasal dari 10 genus, 5 famili yaitu Famili Entomobrydae, Hypogastruridae, Isotomidae, Neanuridae, dan Tomoeridae. Jumlah famili paling banyak ditemukan adalah Entomobrydae dengan spesies terbanyak adalah *Entomobrya multufasciata* dengan nilai INP tertinggi. Famili Entomobrydae merupakan famili Collembola yang banyak hidup dipermukaan tanah dan serasah yang mulai membusuk (Jumar, 2000). Untuk indeks kemerataan jenis tergolong kecil, demikian juga nilai indeks keanekaragaman termasuk kategori rendah. Berbeda dengan yang ditunjukkan (Putri et al., 2019) pada berbagai umur perkebunan kelapa sawit yaitu

keanekaragaman beberapa famili dari Collembola dan serangga tanah pada area perkebunan kelapa sawit, pada area perkebunan umur 3 tahun dan areal perkebunan berumur 5 tahun memiliki keanekaragaman paling tinggi dengan nilai 2.098. Hubungan positif antara organisme tanah dan faktor lingkungan tanah dijelaskan dalam bentuk interaksi antara keberadaan keanekaragaman Collembola dengan kandungan C-organik tanah dengan nilai 0.500, kandungan C-organik akan menurun jika keadaan populasi Collembola dan organisme tanah melimpah diduga C-organik dimanfaatkan untuk kelangsungan hidup organisme tersebut dan tumbuhan. Oleh karenanya Collembola digunakan sebagai bioindikator keadaan tanah karena organisme ini sangat sensitif terhadap perubahan habitat baik secara struktur maupun fungsi komunitas. (Trianto & Marisa, 2020).

Kondisi kepadatan, keanekaragaman dan dominansi Collembola dilahan tambang dan perkebunan cukup jauh berbeda (lihat gambar 3), dilahan reklamasi Erstberg Freeport Indonesia Timika ditemukan 4 famili yakni Isotomidae, Neelidae, Onychiuridae, Entomobrydae. Famili Entomobrydae merupakan yang terkecil dengan hanya 7 individu dari 8 area pengamatan. Total individu Collembola diarea reklamasi dan area tambang berjumlah 385 individu ditahun 2008 dan menjadi 553 individu ditahun 2009 (Tim Keanekaragamanhayati Departemen Lingkung PT. Freeport Indonesia., 2008; Wamafma S; Puradyatmika P, 2009). Berbeda dengan Collembola diarea perkebunan memiliki kelimpahan yang tinggi yaitu dalam satu kali pengamatan diperoleh 1.286 individu (lihat **Tabel 2**). (Battigelli, 2011) menyatakan bahwa kombinasi beberapa faktor yaitu tutupan vegetatif, jenis tanah, kelembaban, suhu, status nutrisi, dapat mempengaruhi kepadatan dan keanekaragaman collembola di habitat tertentu dengan kepentingan relatif dari setiap faktor yang bervariasi untuk setiap spesies. Faktor waktu yakni lamanya lahan bekas tambang timah dibiarkan tidak terganggu lagi yang secara langsung terkait dengan perkembangan vegetasi di atasnya serta perubahan sifat fisik dan kimia tanah, sangat menentukan tingkat keanekaragaman jenis mesofauna dan makrofauna (Hilwan & Handayani, 2013).

KESIMPULAN

Area suksesi Grashberg dan lahan reklamasi Erstberg Freeport Indonesia Timika termasuk tipe ekosistem sub alpine dan alpine, memiliki kondisi iklim mikro dan jenis habitat spesifik menjadi pembatas tumbuhnya vegetasi. Bahan tailing berupa sirsat (pasir sisa tambang) merupakan media tumbuh yang kurang baik karena miskin unsur hara mempengaruhi pertumbuhan vegetasi dan kehadiran Collembola. Kegiatan reklamasi lahan pada area tambang mampu menyediakan lingkungan biotik dan abiotik yang dapat meningkatkan kehadiran Collembola, walaupun demikian membutuhkan waktu dan proses yang lama minimal satu tahun. Berbeda halnya di area perkebunan, karena banyaknya serasah yang tersedia dari jenis yang

ditanam memicu aktifnya Collembola dan juga adanya perlakuan pemupukan menjadikan tanah sebagai sumber pakan nutrisi yang cukup bagi perkembangan Collembola sehingga meningkatkan kelimpahannya dan keanekaragaman jenisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Awaludin, Rizki and Kandyarucita, Galuh and Amadea, Allegra Phelia and Vanya, Katherine and Setyaningrum, M. N. (2019). KARAKTER KOMUNITAS ARTHROPODA SEBAGAI KONSEKUENSI ALIH FUNGSI LAHAN DI KAWASAN SEKITAR SITU CISANTI. *Jurnal Penelitian Kecil Proyek Ekologi*.
- Barrios, E. (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 64(2). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.004>
- Battigelli, J. P. (2011). Exploring the world beneath your feet: soil mesofauna as potential biological indicators of success in reclaimed soils. *Proceedings - Tailings and Mine Waste 2011*, Rusek 1989.
- Baumbrough, B. (1999). *Soil collembola under different conifer species on southern Vancouver Island, British Columbia*. University of British Columbia. Dept. of Soil Science.
- Buch, A. C., Niemeyer, J. C., Marques, E. D., & Silva-Filho, E. V. (2021). Ecological risk assessment of trace metals in soils affected by mine tailings. *Journal of Hazardous Materials*, 403. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123852>
- Cahyani, Kurnia and Aminatun, Tien and Putra, N. S. (2017). STRUKTUR KOMUNITAS COLLEMBOLA DI LINGKUNGAN RHIZOSFER *Chromolaena odorata* PADA LAHAN VULKANIK, PANTAI BERPASIR, DAN KARST. *Jurnal Biologi*, 6(8), 455--464.
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). DigitalCommons @ University of Nebraska - Lincoln Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, June.
- George, P. B. L., Keith, A. M., Creer, S., Barrett, G. L., Lebron, I., Emmett, B. A., Robinson, D. A., & Jones, D. L. (2017). Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme. *Soil Biology and Biochemistry*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.09.022>
- Haryoko, Wendy and Jati, A Wibowo Nugroho and Yuda, I. P. (2020). *Keanekaragaman dan Distribusi Collembola di Permukaan Lantai Gua Tegoguo di Kaligesing Purworejo Jawa Tengah*.
- Hilwan, I., & Handayani, E. P. (2013). Keanekaragaman Mesofauna dan Makrofauna Tanah pada Areal Bekas Tambang Timah di Kabupaten Belitung, Provinsi Kepulauan Bangka-Belitung. *Jurnal Silviculture Tropika*, 04(01), 35-41.
- Husamah, H., Rohman, F., & Sutomo, H. (2015). The Community Structure of Collembola in Three Type of Habitats along the Upstream Brantas River Basin of Batu City. *The Community Structure of Collembola in Three Type of Habitats along the Upstream Brantas River Basin of Batu City*, 9, 45-50.
- Jumar. (2000). *Entomologi Pertanian*. Rineka Cipta.
- Kartanto, A., Rahmadi, C., Franklin, E., Susilo, F.-X., & Wellington de Morais, J. (2011). Collembola, acari y otra mesofauna del suelo: el método Berlese. *Manual de Biología de Suelos Tropicales*.
- Kuznetsova, N., Gomina, A., Smirnova, O., & Potapov, M. (2018). Soil mesofauna and diversity of vegetation: Collembola in pristine taiga forests (Pechora-Ilych Biosphere Reserve, Russia).

- European Journal of Forest Research*, 137(5). <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1132-1>
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., & Rossi, J. P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>
- Niwangtika, W., & Ibrohim, I. (2017). KAJIAN KOMUNITAS EKOR PEGAS (COLLEMBOLA) PADA PERKEBUNAN APEL (*Malus sylvestris* Mill.) DI DESA TULUNGREJO BUMIAJI KOTA BATU. *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi*, 3(2), 76. <https://doi.org/10.23917/bioeksperimen.v3i2.5185>
- Oktavianti, R., Nurdin, J., & Herwina, H. (2018). Komunitas Collembola pada Hutan Konservasi dan Perkebunan Sawit di Kawasan PT. Tidar Kerinci Agung (TKA), Sumatera Barat. *Jurnal Biologi Unand*, 5(1), 16. <https://doi.org/10.25077/jbioua.5.1.16-24.2017>
- Putri, K., Santi, R., & Aini, S. N. (2019). Keanekaragaman Collembola dan Serangga Permukaan Tanah di Berbagai Umur Perkebunan Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.): Diversity of Collembola and Ground Surface Insects at Different Ages of Oil Palm Plantations (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 21(1), 36-41. <https://doi.org/10.29244/jitl.21.1.36-41>
- Santi, R., Kusmiadi, R., Pratama, D., & Robiansyah. (2019). *Diversity Relation Between Soil Mesofauna and C-organic Content in Pepper Plantation Area, Petaling, Bangka Belitung Islands*. 167(ICoMA 2018), 220-225. <https://doi.org/10.2991/icoma-18.2019.47>
- Tim Keanekaragamanhayati Departemen Lingkunga PT. Freeport Indonesia. (2008). *Laporan Pemantauan Keanekaragaman Hayati Area Sukresi Alami Ertsberg & Area Reklamasi Grashberg. Timika Papua*.
- Trianto, M., & Marisa, F. (2020). *BIO-EDU: Jurnal Pendidikan Biologi Study on Abundance and Distribution Pattern of Collembola on*. 5(3), 107-117. <https://doi.org/10.32938/jbe>.
- Wamafma S; Puradyatmika P. (2009). Inventarisasi Mezofauna di Daerah Reklamasi PT. Freeport Indonesia, Timika-Papua. *Biologi Papua*, 1(2), 43-50.
- Zhu, Y., Shen, F., Yu, J., Zhang, X., & Lu, L. (2013). Soil fauna diversity of abandoned land in a copper mine tailing area. *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, 33(5). <https://doi.org/10.5846/stxb201112161925>