



Struktur Tegakan dan Tingkat Keberhasilan Area Reklamasi pada Tambang Silika

Stand Structure and Success Level of Reclamation Areas at Silica Mines

Tedi Yunanto, Dadan Wildan, Suparno

Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, KESDM

Corresponding Author: tedi.yunanto@esdm.go.id

INFO ARTIKEL

ABSTRAK

Kata Kunci:

struktur tegakan, tingkat keberhasilan, reklamasi, tambang silika

Sebagai negara berkembang, Indonesia masih bergantung terhadap eksploitasi sumber daya alam untuk sumber pendapatan nasional, seperti komoditas tambang Silika di Kabupaten Sukabumi. Untuk mengembalikan fungsi lahan bekas tambang sesuai peruntukannya, maka area bekas tambang wajib dilakukan kegiatan reklamasi. Dinamika ekologi khususnya struktur tegakan terjadi pada area reklamasi dan area reklamasi tersebut harus memenuhi kriteria keberhasilan berdasarkan peraturan perundangan yang berlaku. Tujuan penelitian adalah untuk memahami dinamika ekologi pada area reklamasi bekas tambang silika dan mengukur tingkat keberhasilan reklamasi sesuai peraturan perundangan. Penelitian dilaksanakan pada area reklamasi tambang silika dengan plot lingkaran jari-jari (r) 17,8 m (0,1 ha) sebanyak 10 plot (± 1 ha). Secara umum, rata-rata diameter pohon di areal reklamasi pada semua plot adalah 18,70 cm (aritmatika) dan 18,99 cm (kuadrat). Grafik yang dibentuk dari hubungan jumlah pohon dengan kelas

diameter dibagi menjadi tiga bentuk, yaitu J-shape terbalik, kurva sebaran normal yang tidak sempurna dan kurva sebaran normal yang sempurna. Rata-rata tinggi total untuk semua plot adalah 11.87 m untuk aritmatika dan 12.25 m untuk Lorey's. Hasil sampling dari 10 plot lingkaran (1 ha) didapatkan bahwa area reklamasi tersebut mencapai tingkat keberhasilan 96,40%. Beberapa parameter kriteria keberhasilan yang belum terpenuhi diantaranya adalah jumlah tanaman, penutupan cover crop dan tajuk. Terdapat jenis puspa (*Schima wallichii*) yang tumbuh alami pada area reklamasi dan dapat ditemukan pada plot 2, 5, 6, 7 dan 8. Untuk meningkat keanekaragaman perlu dilakukan proses pengayaan, yaitu menanam jenis tanaman lainnya.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

stand structure, level of success, reclamation, silica mine

As a developing country, Indonesia still depends on the exploitation of natural resources as a source of national income, such as the Silica mining commodity in Sukabumi Regency. To restore the function of ex-mining land according to its intended use, reclamation activities must be carried out in ex-mining areas. Ecological dynamics, especially stand structure, occur in the reclamation area and the reclamation area must meet the success criteria based on applicable laws and regulations. The aim of the research is to understand the ecological dynamics in the reclamation area of the former silica mine and measure the level of success of reclamation in accordance with statutory regulations. The research was carried out in a silica mine reclamation with a circle plot with a radius (r) of 17.8m (0.1 ha) totalling 10 plots (± 1 ha). In general, the mean tree diameter in the reclamation area in all plots is 18.70 cm (arithmetic) and 18.99 cm (square). The graph formed from the relationship between the number of trees and the diameter class is divided into three shapes, namely the inverted J-shape, the imperfect normal distribution curve and the perfect normal distribution curve. The

*mean total height for all plots was 11.87 m for arithmetic and 12.25 m for Lorey's. Sampling results from 10 circular plots (1 ha) showed that the reclamation area achieved a success rate of 96.40%. Several success criteria parameters that have not been met include the number of plants, cover of crop cover and canopy. There is a species of Puspa (*Schima wallichii*) that grows naturally in the reclamation area and can be found in plots 2, 5, 6, 7 and 8. To increase diversity it is necessary to carry out an enrichment process, namely planting other species of plants.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai Negara berkembang masih bergantung terhadap eksploitasi sumber daya alam untuk sumber pendapatan nasional. Komoditas tambang merupakan salah satu sumber daya alam yang dieksploitasi, seperti pertambangan silika di Kabupaten Sukabumi. Dampak lingkungan akibat pertambangan diantaranya adalah perubahan bentang alam, lubang tambang (*void*), menurunnya biodiversitas flora dan fauna, serta berubahnya kondisi tanah (Lloyd *et al.*, 2002; Doupe and Lymbery, 2005; Slingenberg *et al.*, 2009; and Subowo, 2011).

Untuk mengurangi kerusakan lingkungan akibat kegiatan penambangan pada tahap eksplorasi atau eksploitasi, maka wilayah bekas pertambangan harus dilakukan kegiatan reklamasi. Kegiatan reklamasi khususnya pada kawasan hutan tidak hanya bertujuan untuk memperbaiki kondisi lahan yang tidak

stabil dan mengurangi erosi tanah, namun juga bertujuan dalam jangka panjang untuk memperbaiki ekosistem hutan terkait iklim mikro, keanekaragaman hayati satwa liar, keanekaragaman hayati vegetasi alami, dan kondisi tanah (Hendrychova, 2008; Pietrzykowski, 2008; dan Heras *et al.*, 2008; Donggan *et al.*, 2011).

perlu kalimat sebelum yang menyebut suksesi...Secara umum suksesi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu suksesi primer dan suksesi sekunder. Perbedaan kedua jenis suksesi ini terletak pada kondisi awal habitat suksesi tersebut. Suksesi primer dapat disebabkan oleh gangguan-gangguan seperti gunung berapi, gempa bumi, tanah longsor, banjir atau kebakaran, di mana gangguan tersebut mengakibatkan hilangnya tanah dan organisme, sehingga hanya menyisakan area kosong berupa batuan, lanau, kerikil, atau pasir. Sedangkan suksesi sekunder disebabkan oleh

gangguan seperti angin topan, longsoran salju, wabah serangga, penebangan hutan, bulldoser, atau kebakaran yang menyebabkan tanah tetap utuh sertabiji, spora, dan akar tanaman masih ada. Daerah yang diawali proses suksesi sekunder biasanya akan lebih cepat mencapai tahap berikutnya dibandingkan proses suksesi primer. Jumlah dan jenis tanaman yang bertahan hidup seringkali bergantung pada kedalaman dan kondisi tanah. Operasi penambangan di kawasan hutan mengakibatkan gangguan terhadap tanah dan tanaman secara menyeluruh. Reklamasi tambang merupakan salah satu bentuk proses suksesi primer, karena bertujuan untuk mengembalikan hutan ke keadaan semula dalam jangka waktu yang sangat lama.

Selain itu, kegiatan reklamasi wajib dilakukan oleh seluruh pemegang izin usaha pertambangan pada area bekas tambang. Dalam pelaksanaannya perusahaan pertambangan wajib menyimpan sejumlah dana (jaminan reklamasi) yang akan dicairkan atau diberikan kembali kepada perusahaan pertambangan setelah perusahaan tersebut melaporkan dan dievaluasi oleh pemerintah mengenai tingkat keberhasilannya. Oleh karena itu, selain perlu melihat terkait dinamika ekologi atau suksesi yang terjadi pada area reklamasi bekas tambang, maka perlu dievaluasi terkait tingkat keberhasilan reklamasi berdasarkan peraturan perundangan yang berlaku, yaitu Keputusan Menteri ESDM No. 1827.K Tahun 2018

Lampiran VI. Tujuan penelitian ini adalah: i) untuk memahami dinamika ekologi pada area reklamasi bekas tambang, khususnya terkait struktur tegakan, ii) mengidentifikasi jenis-jenis yang tumbuh alami pada area reklamasi, dan iii) menilai tingkat keberhasilan reklamasi sesuai peraturan dan perundangan yang berlaku.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di area pascatambang Ijin Usaha Pertambangan (IUP) PT Solusi Bangun Indonesia (Ex PT Holcim Indonesia, Tbk) di Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat (**Gambar 2.1**) atau Taman Dynamix (Cibadak Educational Forest). PT Solusi Bangun Indonesia telah melakukan pertambangan silika selama 35 tahun di lokasi tersebut dan melakukan reklamasi setelah tutup tambang. Kegiatan penanaman di area bekas tambang dimulai dari tahun 2013-2014 dengan jenis tanaman dominan yang ditanam adalah Pinus (*Pinus merkusii*), Karet (*Hevea brasiliensis*), dan Sengon buto (*Enterolobium cyclocarpum*). waktu???

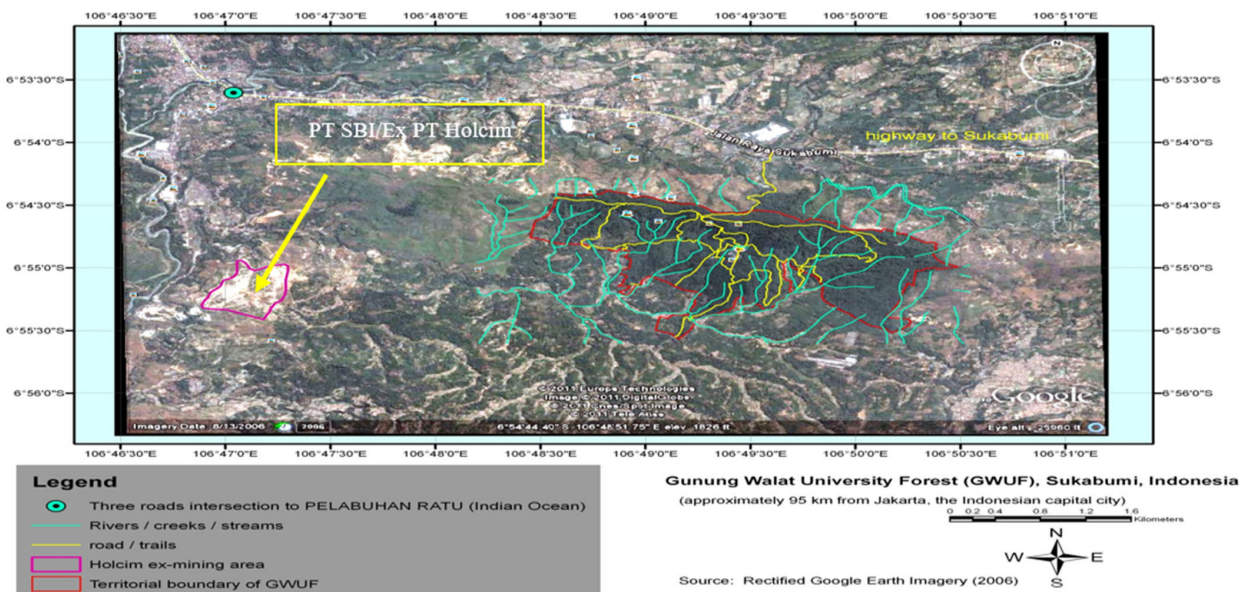
2.2. Desain Penelitian

Analisa vegetasi untuk struktur tegakan dan pengukuran tingkat keberhasilan reklamasi dilakukan dengan menggunakan plot lingkaran yang dimodifikasi dengan radius $r = 17,8$ m atau sekitar 0,1 ha (James dan Shugart,

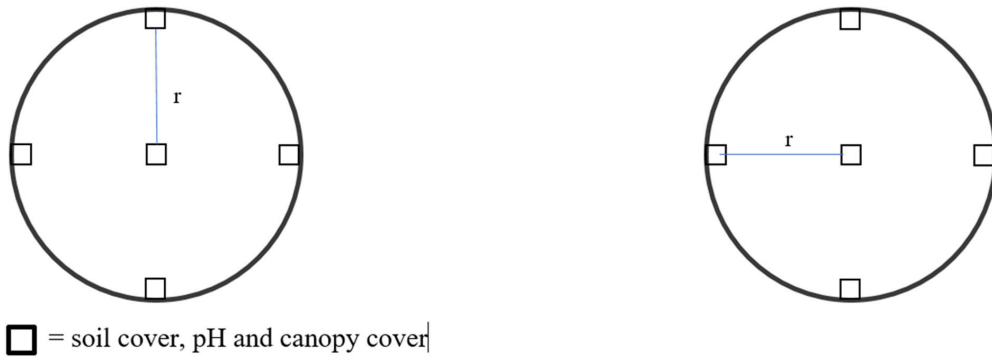
1970). Sebanyak 10 petak (± 1 ha) yang merupakan ukuran jumlah petak minimum yang dapat digunakan untuk penelitian silvikultur (Lamprecht, 1989) (**Gambar 2.2**). Dengan demikian, luas areal reklamasi untuk inventarisasi vegetasi dan pengukuran tingkat keberhasilan reklamasi adalah ± 1 ha. Metode pengambilan sampel dilakukan dengan secara acak untuk mendapatkan data yang representatif dan probabilitas inklusi data yang sama.

Semua pohon yang memiliki diameter setinggi dada (*diameter at breast height*, DBH, 1,3 m) $DBH \geq 10$ cm yang berada pada radius $r = 17,8$ m dicatat nama jenis, serta

diukur diameter dan tinggi totalnya. Pada radius $r = 17,8$ m juga dievaluasi dan diukur tingkat penatagunaan lahan, penebaran tanah pucuk, kegiatan pemeliharaan serta erosi dan sedimentasinya. Untuk pengukuran pH tanah, *covercrop* dan penutupan tajuk dilakukan pada lokasi kotak berbentuk bujur sangkar yang ditempatkan di dalam plot lingkaran, 1 di tengah dan 4 di penjuru mata angin, yaitu utara, selatan, timur dan barat. Data hasil pengukuran selanjutnya diolah untuk mengetahui komposisi dan jenis serta tingkat keberhasilan reklamasi (**Tabel 2.1**). Titik koordinat 10 plot pengukuran disajikan pada **Tabel 2.2**.



Gambar 2.1 Lokasi pascatambang IUP PT Solusi Bangun Indonesia (source: ipbuniversity, 2020)



Gambar 2.2 Plot pengukuran keberhasilan reklamasi

Tabel 2.1 Pengolahan data hasil analisa vegetasi untuk struktur tegakan

Rumus	Sumber
Arithmetic mean diameter ($\bar{d}$): $\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^N di}{N}$ where: di: diameter of the individual tree N: total number of trees of the stand	Brodbeck, 2004
Total stand basal area (G): $G = \sum_{i=1}^N gi$; and $gi = \frac{\pi}{4} \cdot di^2$ where: gi : basal area of the i^{th} trees di : dbh of the trees	Lu, 1999
Arithmetic mean height (h_d): $h_d = \frac{\sum_{i=1}^N hi}{N}$ where: hi : height of the individual tree n : total number of trees of the stand	
Soil Cover ($\overline{SC}$) = $\frac{\sum_{i=1}^N \overline{SC}_i}{n}$; and $\overline{SC}_i = \frac{\text{number of screened soil cover}}{256}$ where: SCi: number of screened soil cover in the sub plot N: number of plot n: number of sub plot	
Canopy Cover (CC): $CC = 100 - C_i$ $C_i = \left(C_1 + C_2 + C_3 + \dots + \frac{C_n}{N} \right) \times 1.04$ where: Ci: hasil pengukuran tajuk ke i Cn: hasil pengukuran tajuk ke n N: jumlah titik pengukuran	(Suprianto dan Irawan, 2001).
Standard deviation/SD (σ_x): $\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$ and variance (σ_x^2): $\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Xi - \mu)^2}{N}$	

Tabel 2.2 Titik koordinat sampling

No. Plot	Titik Koordinat	
	Lintang Selatan	Bujur Timur
1	6°55'16"S	106°47'6"E
2	6°55'15"S	106°47'5"E
3	6°55'14"S	106°47'10"E
4	6°55'14"S	106°47'11"E
5	6°55'21"S	106°48'26"E
6	6°55'38"S	106°52'27"E
7	6°54'24"S	106°46'46"E
8	6°52'19"S	106°45'56"E
9	6°54'34"S	106°47'3"E
10	6°54'46"S	106°47'8"E

2.3. Penilaian Keberhasilan Reklamasi

Pengukuran tingkat keberhasilan reklamasi menggunakan bentuk plot yang sama dengan analisa vegetasi. Sedangkan pedoman ESDM untuk penilaian reklamasi didasarkan pada kuantitas dan kualitas reklamasi, yaitu Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik Lampiran VI adalah sebagai berikut:

a. Penatagunaan lahan (60%); meliputi penatagunaan lahan bekas tambang (40%), penyebaran tanah zona pengakaran (total skor 10%), serta pengendalian erosi sedimentasi dan pengelolaan air (10%).

b. Revegetasi (20%) meliputi pertumbuhan tanaman penutup tanah (2,5%), pertumbuhan jenis cepat tumbuh (7,5%), pertumbuhan jenis pohon lokal (5%) dan pengendalian Air Asam Tambang (5%).

c. Penyelesaian akhir (20%) meliputi penutup tajuk (10%) dan pemeliharaan (10%). dianalisis dan disajikan dalam bentuk apa??

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Keakuratan sampling

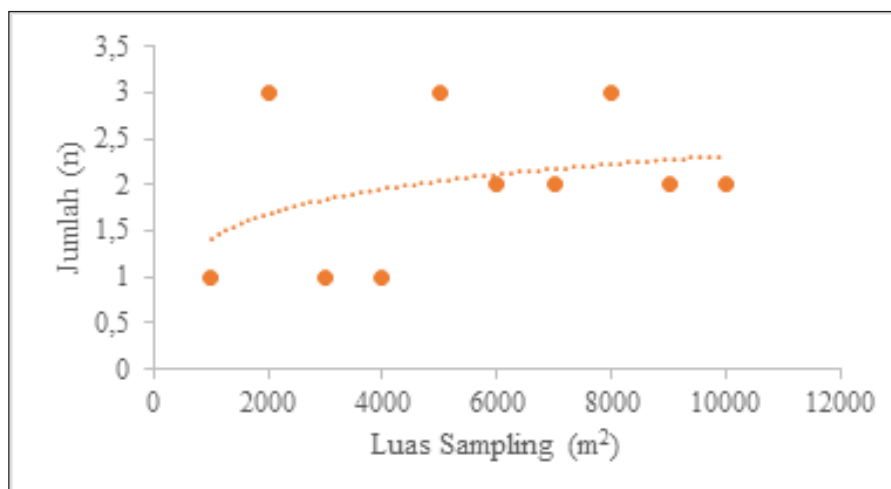
Kurva spesies-area adalah salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menentukan luas perwakilan minimum komunitas tertentu (Ganderton dan Coker,

2005) dan ukuran petak minimum untuk survei komunitas tumbuhan (Lamprecht, 1989). Analisis komunitas vegetasi harus dilanjutkan sampai peningkatan spesies baru yang ditemukan pada plot berikutnya, sekurang-kurangnya di bawah 10% dari jumlah spesies yang ditemukan di semua plot (Cain, 1938; Lamprecht, 1989).

Dalam penelitian ini, pembentukan kurva spesies-area didasarkan pada semua spesies pohon dengan ukuran DBH ≥ 10 cm. Hasil inventarisasi vegetasi menunjukkan bahwa penambahan jumlah jenis pohon yang terdapat pada areal reklamasi dengan jumlah penambahan jenis tanaman $< 10\%$ sudah terjadi pada plot 5 ke plot 6 (ukuran plot 5.000 - 6.000 m²). Hal ini menegaskan bahwa desain petak yang digunakan dalam penelitian ini sesuai untuk inventarisasi vegetasi di area bekas

tambang. Kurva spesies-area dapat dilihat secara detail pada **Gambar 3.1**.

Keakuratan pengambilan sampel selanjutnya dinilai berdasarkan kesalahan standar deviasi dari rata-rata *basal area*. Semakin kecil kesalahan nilai standar deviasi rata-rata *basal area*, maka semakin besar plot yang digunakan sudah mewakili seluruh populasi. Hasil perhitungan standard deviasi dari keseluruhan plot dan setiap plot dapat dilihat pada **Tabel 3.1**. Dalam penelitian ini, standar deviasi yang dihitung dari rata-rata luas bidang dasar (*basal area*) baik untuk semua plot dan setiap plot didasarkan pada pohon dengan DBH ≥ 10 cm. Nilai standar deviasi semua plot, plot 1, plot 3, plot 4, plot 5, plot 6, plot 7, dan plot 8 berada di bawah 10%, yaitu masing-masing 9,23%, 4,94%, 4,66%, 5,13%, 4,79%, 7,73%, 5,53%, dan 6,97%%. Sedangkan



Gambar 3.1 Kurva species area

Tabel 3.1 Rata-rata *basal area* dan standar deviasi untuk semua plot dan setiap plot

Plot	Rata-rata Basal Area $\pm$ SD*	Standar Deviasi (Sg****; %)
Seluruh Plot (m ² /ha)	15,87 $\pm$ 0,16	9,23
Plot 1 (m ² /0,1 ha)	11,15 $\pm$ 0,09	4,94
Plot 2 (m ² /0,1 ha)	13,43 $\pm$ 0,25	12,78
Plot 3 (m ² /0,1 ha)	19,17 $\pm$ 0,11	4,66
Plot 4 (m ² /0,1 ha)	19,44 $\pm$ 0,13	5,13
Plot 5 (m ² /0,1 ha)	16,80 $\pm$ 0,10	4,79
Plot 6 (m ² /0,1 ha)	15,21 $\pm$ 0,16	7,73
Plot 7 (m ² /0,1 ha)	20,97 $\pm$ 0,14	5,53
Plot 8 (m ² /0,1 ha)	21,52 $\pm$ 0,18	6,97
Plot 9 (m ² /0,1 ha)	14,01 $\pm$ 0,20	10,26
Plot 10 (m ² /0,1 ha)	7,00 $\pm$ 0,12	11,42

standar deviasi plot 2, plot 9 dan plot 10 lebih dari 10%, yaitu 12,78%, 10,26%, dan 11,42%, yang kemungkinan disebabkan oleh perbedaan jenis tanaman yang menyebabkan adanya variasi tingkat pertumbuhan diameter. Nilai standard deviasi rata-rata basal area adalah sekitar 10%, hal ini sesuai dengan persyaratan keakuratan untuk analisa vegetasi konvensional (Zöhrer, 1980).

3.2. Diameter (DBH), Kerapatan dan Basal Area

Diameter rata-rata yang dihitung didasarkan pada rumus diameter rata-rata aritmatika dan

kuadrat (area dasar) (**Tabel 3.2**). Secara umum, rata-rata diameter pohon di areal reklamasi pada semua plot adalah 18,70 cm (aritmatika) dan 18,99 cm (kuadrat). Rata-rata diameter baik secara aritmatika dan kuadrat dari plot 1 sampai plot 9 berkisar masing-masing antara 17,00 cm – 19,00 cm dan 18,00 cm dan 20,00 cm. Nilai-nilai tersebut lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai diameter plot 10. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kegiatan penanaman yang berbeda tahun atau disebabkan oleh kurangnya pasokan unsur hara yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan tanaman (Unanaonwi dan Amonum, 2017).

Tabel 3.2 Rata-rata diameter aritmatika dan kuadrat ($DBH \geq 10$ cm)

Plot	n	Rata-rata Aritmatika $\pm$ Standar Deviasi (cm)	Rata-rata Kuadratik (cm)
Seluruh Plot (m^2/ha)	10	$18,70 \pm 4,99$	18,99
Plot 1 ($m^2/0,1$ ha)	1	$19,90 \pm 3,11$	20,14
Plot 2 ($m^2/0,1$ ha)	1	$17,90 \pm 6,05$	18,88
Plot 3 ($m^2/0,1$ ha)	1	$19,33 \pm 3,77$	19,69
Plot 4 ($m^2/0,1$ ha)	1	$19,41 \pm 4,04$	19,82
Plot 5 ($m^2/0,1$ ha)	1	$18,53 \pm 3,70$	18,88
Plot 6 ($m^2/0,1$ ha)	1	$18,41 \pm 5,22$	19,12
Plot 7 ($m^2/0,1$ ha)	1	$19,42 \pm 4,65$	19,96
Plot 8 ($m^2/0,1$ ha)	1	$18,73 \pm 5,51$	19,51
Plot 9 ($m^2/0,1$ ha)	1	$17,33 \pm 6,09$	18,35
Plot 10 ($m^2/0,1$ ha)	1	$13,33 \pm 4,06$	13,92

Tabel 3.3 Rata-rata kerapatan pohon dan basal area ($DBH \geq 10$ cm)

Plot	n	Kerapatan	Rata-rata Basal Area $\pm$ Standar Deviasi
Seluruh Plot (m^2/ha)	10	559	$15,87 \pm 0,16$
Plot 1 ($m^2/0,1$ ha)	1	35	$11,15 \pm 0,09$
Plot 2 ($m^2/0,1$ ha)	1	48	$13,43 \pm 0,25$
Plot 3 ($m^2/0,1$ ha)	1	63	$19,17 \pm 0,11$
Plot 4 ($m^2/0,1$ ha)	1	63	$19,44 \pm 0,13$
Plot 5 ($m^2/0,1$ ha)	1	60	$16,80 \pm 0,10$
Plot 6 ($m^2/0,1$ ha)	1	53	$15,21 \pm 0,16$
Plot 7 ($m^2/0,1$ ha)	1	67	$20,97 \pm 0,14$
Plot 8 ($m^2/0,1$ ha)	1	72	$21,52 \pm 0,18$
Plot 9 ($m^2/0,1$ ha)	1	53	$14,01 \pm 0,20$
Plot 10 ($m^2/0,1$ ha)	1	46	$7,00 \pm 0,12$

Parameter kerapatan dan luas bidang dasar (basal area) dihitung berdasarkan DBH pohon ≥ 10 cm (**Tabel 3.3**). Kerapatan dan basal area untuk semua plot masing-masing adalah 599 pohon/ha dan $15,87 \text{ m}^2/\text{ha}$. Kerapatan tertinggi untuk setiap plot ada pada plot 8 (72 pohon/0,1 ha), sedangkan yang terendah pada plot 1 (35 pohon/0,1 ha). Plot dengan basal area tertinggi ada pada plot 8 ($21,52 \text{ m}^2/0,1 \text{ ha}$), sedangkan yang terendah pada plot 10 ($7,00 \text{ m}^2/0,1 \text{ ha}$). Menurut peraturan perundang-undangan, perusahaan pertambangan harus menanam pohon dengan jarak tanam $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ (625 pohon/ha). Namun, kerapatan pada semua plot adalah 599 pohon/ha, masih di bawah 625 pohon/ha. Kondisi ini terjadi kemungkinan akibat kematian bibit yang tidak dilakukan proses penyulaman/penggantian bibit yang mati.

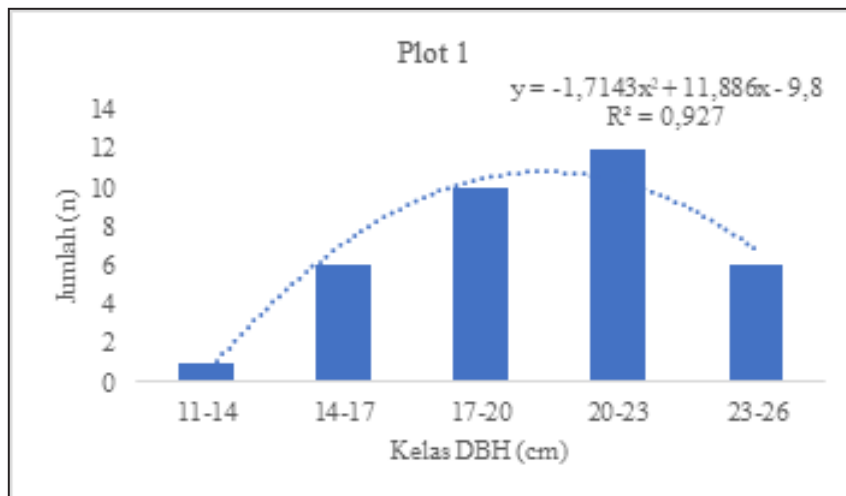
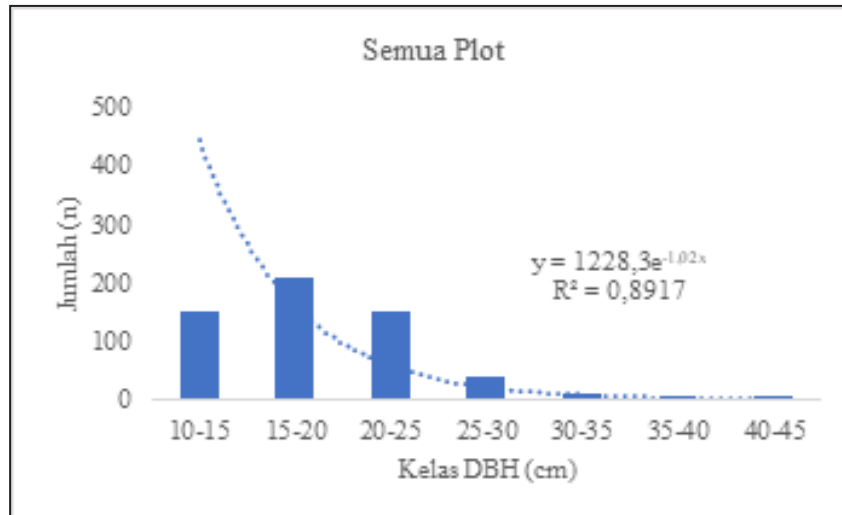
3.3. Distribusi Diameter

Dalam penelitian ini, distribusi diameter dihitung dari jumlah pohon dengan kelas DBH ≥ 10 cm (Interval DBH = 5 cm untuk semua plot, dan interval DBH = 3 cm untuk setiap plot). Persamaan model hubungan antara jumlah pohon dengan kelas DBH dibuat dengan Microsoft excel. Secara umum grafik yang dibentuk dari hubungan jumlah pohon dengan kelas diameter dibagi menjadi tiga bentuk, yaitu *J-shape* terbalik, kurva sebaran normal yang tidak sempurna dan kurva sebaran normal yang

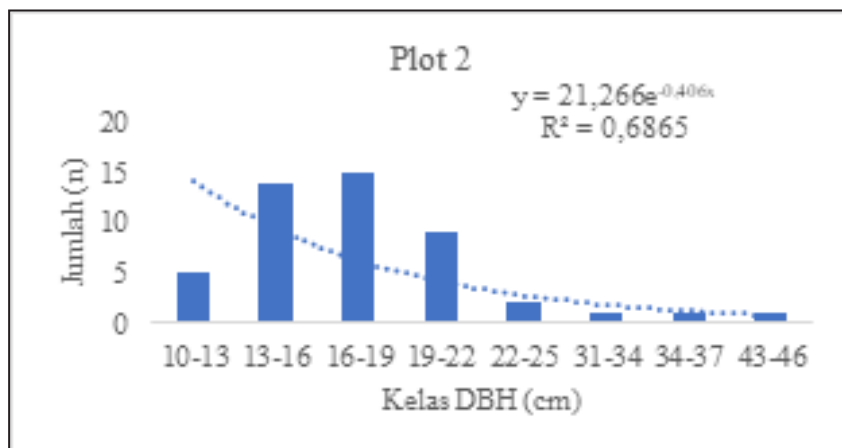
sempurna (**Gambar 3.2** dan **Gambar 3.3**).

Distribusi diameter pohon mampu menggambarkan struktur hutan atau lapisan tajuk penyusun suatu tegakan hutan. Pada hutan alam atau hutan tidak seumur (*unaged forest*), struktur hutan menyerupai huruf J terbalik dan pada hutan tanaman atau hutan seumur (*aged forest*) struktur hutan berbentuk lonceng atau kurva sebaran normal dengan jumlah pohon terbesar berada dalam kisaran diameter pertengahan (Safitri *et al.*, 2020). Pola sebaran diameter ini mampu menunjukkan apakah kondisi hutan berada dalam kisaran normal atau telah mengalami gangguan. Grafik untuk semua plot, plot 2, plot 9 dan plot 10 menunjukkan grafik dengan bentuk J-terbalik, yaitu bahwa jumlah total individu menurun dengan meningkatnya DBH. Diantara ke empat grafik bentuk J-terbalik, grafik pada plot 10 memiliki koefisien korelasi (r) paling tinggi, yaitu $r = 0.9758$. Sedangkan nilai r paling rendah pada grafik berbentuk J-terbalik adalah pada plot 2, yaitu $r = 0.6865$.

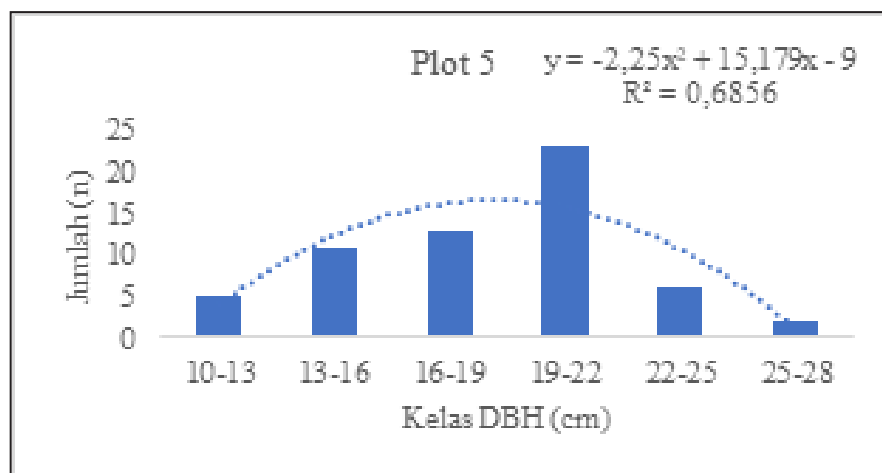
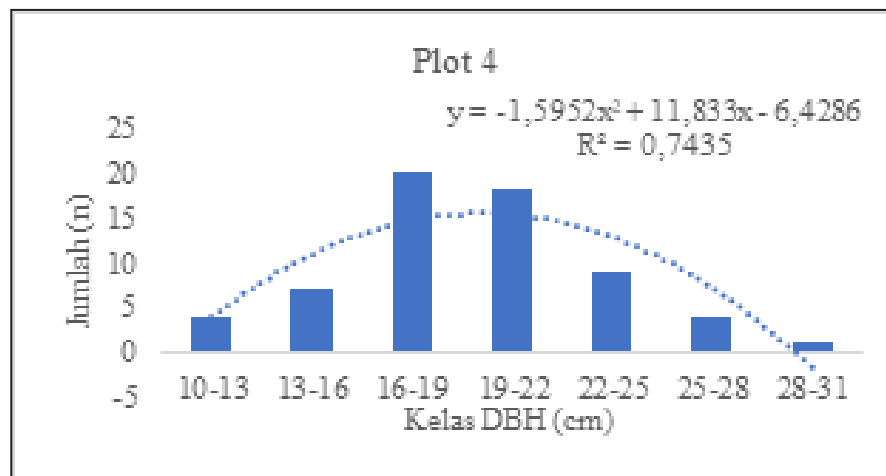
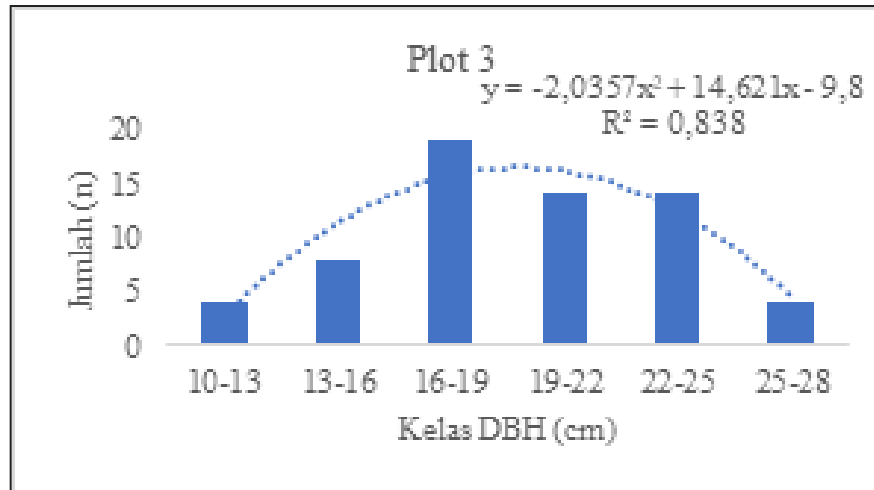
Grafik dengan bentuk kurva sebaran normal yang tidak sempurna dimiliki oleh plot 1, plot 6 dan plot 8. Diantara ke tiga grafik bentuk kurva sebaran normal yang tidak sempurna, grafik pada plot 1 memiliki koefisien korelasi (r) paling tinggi, yaitu $r = 0.927$. Sedangkan nilai r paling rendah pada grafik bentuk kurva sebaran normal yang tidak sempurna adalah pada plot 8, yaitu $r = 0.662$. Pola sebaran tersebut



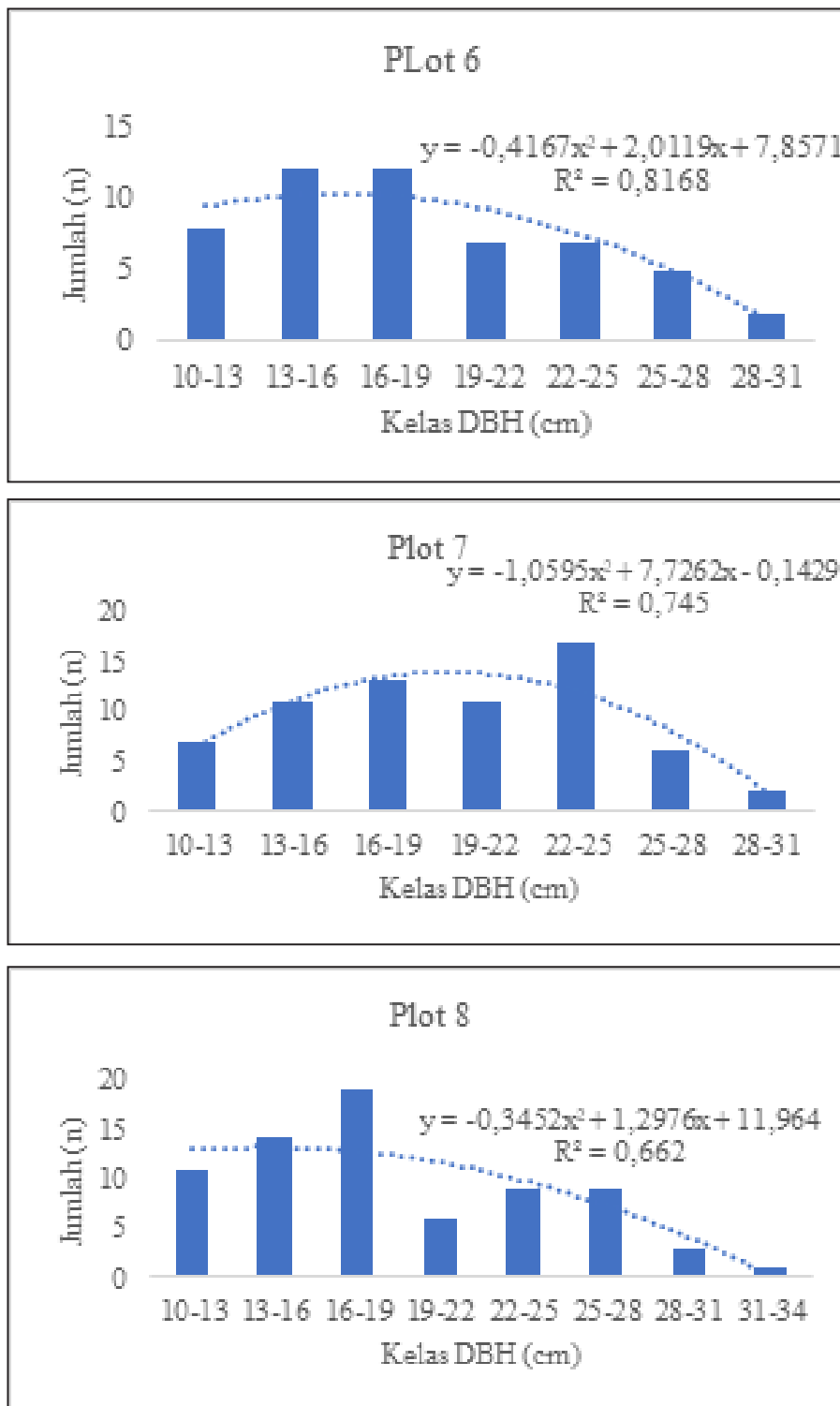
Gambar 3.2 Distribusi diameter untuk semua plot dan plot 11



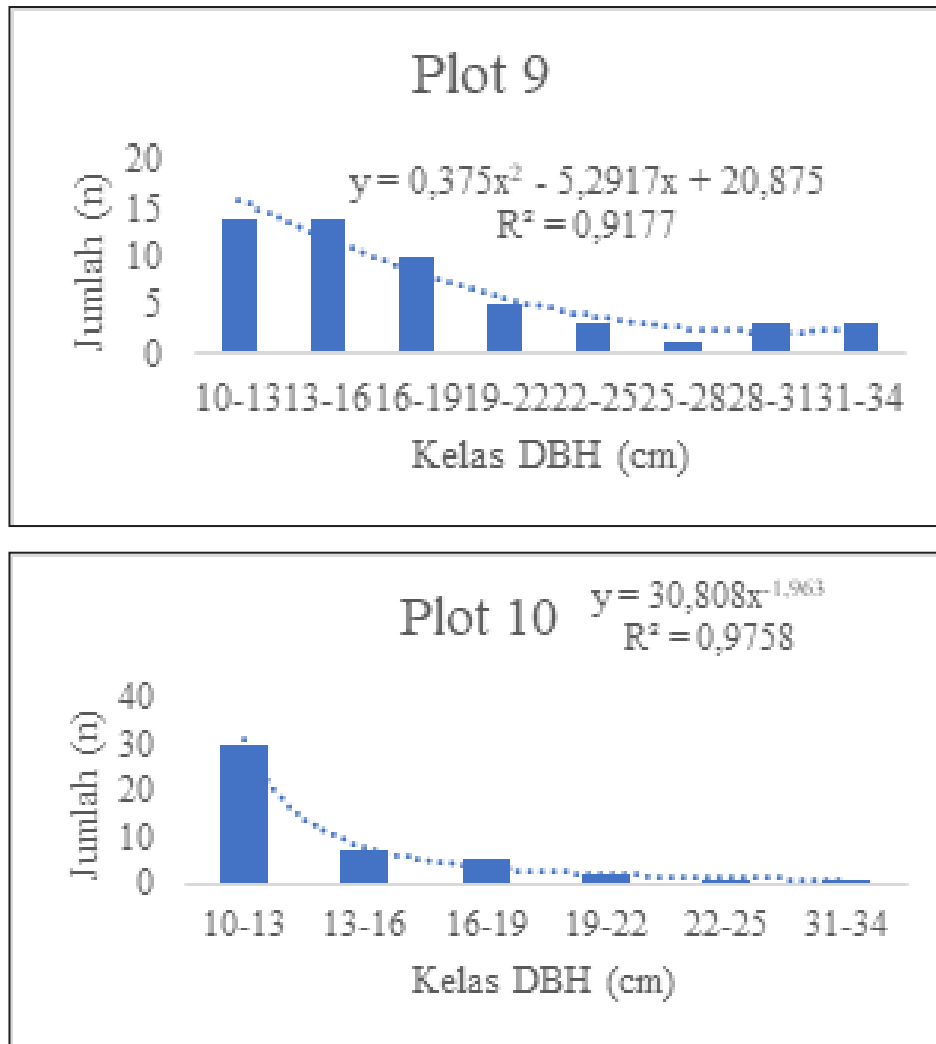
Gambar 3.3a Distribusi diameter untuk plot 2



Gambar 3.3b Distribusi diameter untuk plot 3 – plot 5



Gambar 3.3c Distribusi diameter untuk plot 6 – plot 8



Gambar 3.3d Distribusi diameter untuk plot 9 – plot 10

menunjukkan bahwa tidak ada lagi pohon-pohon yang berdiameter lebih besar 23-26 cm pada plot 1, serta lebih kecil dari 10-13 cm untuk plot 6 dan plot 8. Grafik dengan bentuk kurva sebaran normal yang sempurna dimiliki oleh plot 3, plot 4, plot 5 dan plot 7. Diantara ke empat grafik bentuk kurva sebaran normal yang sempurna, grafik pada plot 3 memiliki koefisien korelasi (r) paling tinggi, yaitu r =

0.838. Sedangkan nilai r paling rendah pada grafik bentuk kurva sebaran normal yang tidak sempurna adalah pada plot 5, yaitu r = 0.6856. Keempat plot mempunyai sebaran diameter berbentuk lonceng atau sebaran normal yang sempurna (grafik normal), di mana jumlah pohon berdiameter kecil dan berdiameter paling besar berada dalam komposisi seimbang.

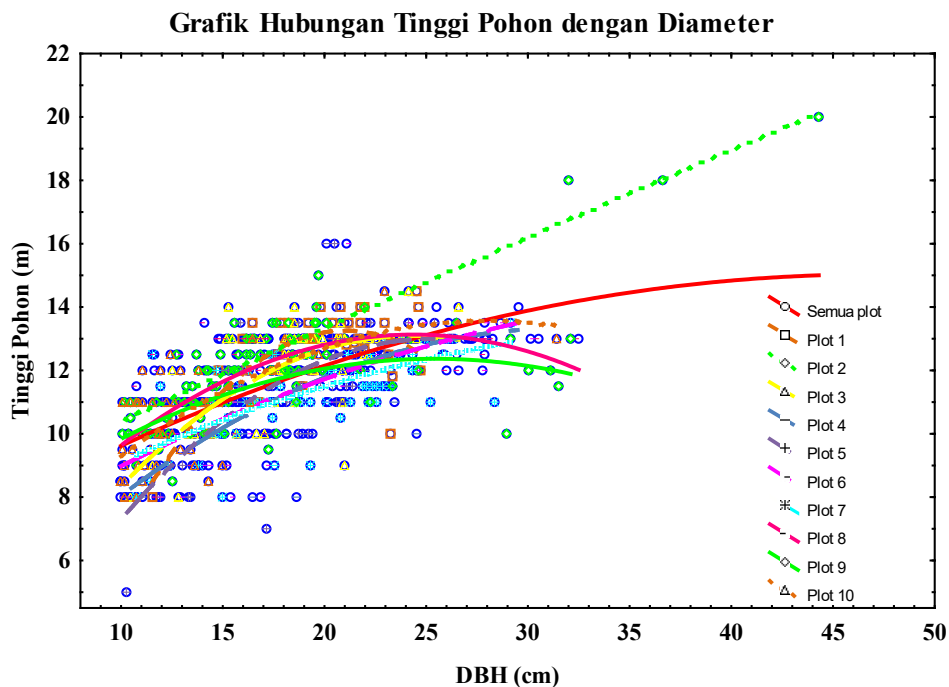
Astriyani dan Pambudhi (2010) menyatakan

bahwa struktur tegakan normal yang mengikuti pola kurva J terbalik, di mana populasi tegakan dengan dimensi yang lebih kecil (diameter kecil) lebih banyak dalam kerapatan (pohon/ha) dibandingkan dengan diameter besar. Menurut hukum de Liocort suatu tegakan hutan alam dikatakan normal jika kurvanya membentuk J terbalik. Distribusi kelas diameter pada suatu tegakan yang membentuk kurva J terbalik merupakan indikator tegakan yang stabil dan berkembang. Tegakan tersebut memiliki lebih banyak pohon dalam kelas-kelas yang lebih kecil, menunjukkan rekrutmen yang terus-menerus secara berkelanjutan untuk suksesi alami (Gonçalves *et al.*, 2017; Staporn *et al.*, 2022).

3.4 Tinggi Tegakan

Rata-rata tinggi total untuk semua plot adalah 11.87 m untuk aritmatika dan 12.25 m untuk Lorey (**Tabel 3.4**). Plot 5 memiliki rata-rata aritmatika paling tinggi dibandingkan plot-plot lainnya yaitu 13.28 m. Sedangkan untuk rata-rata tinggi Lorey, plot 2 memiliki rata-rata tinggi yang paling besar, yaitu 14.18 m. Plot 10 memiliki rata-rata tinggi yang paling rendah baik aritmatika maupun Lorey dibandingkan plot-plot lainnya yaitu 10.51 m untuk aritmatika dan 11.23 m untuk Lorey.

Secara umum terlihat bahwa tinggi total bertambah seiring dengan bertambahnya DBH untuk semua plot dan setiap plot (**Gambar 3.4**). Nilai korelasi untuk semua plot adalah



Gambar 3.4 Hubungan antara pertambahan tinggi total dengan DBH

Tabel 3.4 Rata-rata tinggi tegakan baik semua plot maupun setiap plot ($DBH \geq 10$ cm)

Plot	n	Rata-rata Aritmatika $\pm$ Standar Deviasi (m)	Rata-rata Lorey's (hg; m)
Seluruh Plot (m^2/ha)	10	$11,87 \pm 1,67$	12,25
Plot 1 ($m^2/0,1$ ha)	1	$12,69 \pm 1,34$	12,86
Plot 2 ($m^2/0,1$ ha)	1	$12,71 \pm 2,00$	14,18
Plot 3 ($m^2/0,1$ ha)	1	$12,20 \pm 1,47$	12,52
Plot 4 ($m^2/0,1$ ha)	1	$11,44 \pm 1,49$	11,86
Plot 5 ($m^2/0,1$ ha)	1	$13,28 \pm 1,97$	12,03
Plot 6 ($m^2/0,1$ ha)	1	$11,23 \pm 1,76$	11,88
Plot 7 ($m^2/0,1$ ha)	1	$11,30 \pm 1,36$	11,70
Plot 8 ($m^2/0,1$ ha)	1	$12,07 \pm 1,33$	12,50
Plot 9 ($m^2/0,1$ ha)	1	$11,28 \pm 1,08$	11,71
Plot 10 ($m^2/0,1$ ha)	1	$10,51 \pm 1,63$	11,23

$r = 0.6428$. Sedangkan untuk setiap plot, plot 2 memiliki nilai korelasi paling tinggi yaitu $r = 0.8626$, dan yang terendah adalah plot 1, yaitu $r = 0.5040$. Kurva yang lebih curam menampilkan hubungan antara pertambahan tinggi total dengan DBH.

3.5. Tingkat Keberhasilan Reklamasi

Pada penelitian ini juga dilakukan penilaian terhadap keberhasilan reklamasi area bekas tambang yang dilakukan. Penilaian dilakukan berdasarkan atas Peraturan Perundang-Undangan dari KESDM, yaitu menurut Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) No. 1827.K/30/MEM/2018. Area penelitian merupakan bekas tambang silika

yang dilakukan reklamasi pada tahun 2013-2014. Hasil sampling dari 10 plot lingkaran (1 ha) didapatkan bahwa area reklamasi tersebut mencapai tingkat keberhasilan 96,40% (**Tabel 3.5**). Beberapa parameter yang belum terpenuhi diantaranya adalah jumlah tanaman, cover crop, dan penutupan tajuk. Namun, ketiga parameter tersebut sudah lebih dari 80% dari total nilai yang ada, sehingga sebenarnya dapat dikatakan sudah mencapai tingkat keberhasilan yang sangat bagus. Untuk meningkat keanekaragaman perlu dilakukan proses pengayaan, yaitu menanam jenis tanaman lainnya (Yunanto, 2018; Yunanto and Amanah, 2019).

Seperti diketahui bahwa kegiatan reklamasi

Tabel 3.5 Tingkat keberhasilan reklamasi tambang

No.	Uraian Kegiatan	Bobot (%)	Hasil Penilaian Lapangan	Nilai Akhir (%)
1.	Penatagunaan lahan:			
	Penataan lahan dan penimbunan kembali lahan bekas tambang	40	Plot 1 = 100% Plot 2 = 100% Plot 3 = 100% Plot 4 = 100% Plot 5 = 100% Plot 6 = 100% Plot 7 = 100% Plot 8 = 100% Plot 9 = 100% Plot 10 = 100% Rata-rata = 100%	40
	Penebaran tanah zona pengakaran	10	Plot 1 = 100% Plot 2 = 100% Plot 3 = 100% Plot 4 = 100% Plot 5 = 100% Plot 6 = 100% Plot 7 = 100% Plot 8 = 100% Plot 9 = 100% Plot 10 = 100% Rata-rata = 100%	10
	Pengendalian erosi dan sedimentasi	10	Plot 1 = 100% Plot 2 = 100% Plot 3 = 100% Plot 4 = 100% Plot 5 = 100% Plot 6 = 100% Plot 7 = 100% Plot 8 = 100% Plot 9 = 100% Plot 10 = 100% Rata-rata = 100%	10
2.	Revegetasi			
	Penanaman tanaman penutup (cover crop)	2.5	Rata-rata: Plot 1 = 77% Plot 2 = 65% Plot 3 = 76% Plot 4 = 40% Plot 5 = 74% Plot 6 = 68% Plot 7 = 70% Plot 8 = 83% Plot 9 = 100% Plot 10 = 76% Rata-rata semua plot = 73%	1.82

No.	Uraian Kegiatan	Bobot (%)	Hasil Penilaian Lapangan	Nilai Akhir (%)
	Penanaman tanaman cepat tumbuh	7.5	Plot 1 = 35 Plot 2 = 48 Plot 3 = 63 Plot 4 = 63 Plot 5 = 60 Plot 6 = 53 Plot 7 = 67 Plot 8 = 72 Plot 9 = 53 Plot 10 = 46 Total = 560 pohon Persentase = $560/625 \times 100\%$ = 89.6%	6.72
	Penanaman tanaman jenis local	5	Plot 1 = 35 Plot 2 = 48 Plot 3 = 63 Plot 4 = 63 Plot 5 = 60 Plot 6 = 53 Plot 7 = 67 Plot 8 = 72 Plot 9 = 53 Plot 10 = 46 Total = 560 pohon Persentase = $560/625 \times 100\%$ = 89.6%	4.48
	Pengendalian air asam tambang	5	Rata-rata: Plot 1 = 5 Plot 2 = 5 Plot 3 = 5 Plot 4 = 5 Plot 5 = 5 Plot 6 = 5 Plot 7 = 5 Plot 8 = 5 Plot 9 = 5 Plot 10 = 5 Rata-rata semua plot = 5 Kategori baik	5
3.	Penyelesaian akhir			
	Penutupan tajuk	10	Rata-rata: Plot 1 = 85.96% Plot 2 = 86.48% Plot 3 = 82.22% Plot 4 = 79.72% Plot 5 = 80.86% Plot 6 = 82.74% Plot 7 = 81.18% Plot 8 = 85.65% Plot 9 = 84.71% Plot 10 = 88.72% Rata-rata semua plot = 83.82% Kategori baik	8.38
	Perawatan	10	Telah dilakukan pemupukan, pendangiran, penebasan, dll	10
	Total nilai keberhasilan			96,40

dapat menciptakan kondisi lingkungan yang baik untuk regenerasi alami (Yunanto *et al.*, 2021). Secara umum, kegiatan reklamasi tambang di Indonesia meliputi *recontouring* tanah, penyebaran tanah, pengendalian erosi dan sedimentasi, pengelolaan air permukaan, revegetasi dan pemeliharaan (Amanah dan Yunanto, 2019). Revegetasi merupakan program utama reklamasi tambang, khususnya di kawasan kehutanan. Kegiatan revegetasi area bekas tambang diawali dengan penanaman *covercrop*. Penanaman tanaman legum penutup di kawasan reklamasi sangat dianjurkan untuk langkah awal stabilisasi lahan bekas tambang, mengingat kemampuannya untuk meningkatkan jumlah nitrogen dalam tanah (Buta *et al.*, 2019). Setelah penanaman tanaman *covercrop* maka dilanjutkan dengan penanaman tanaman pionir cepat tumbuh yang umumnya berasal dari Famili Fabaceae. Jenis dari Family Fabacea diantaranya adalah *Enterolobium siklokarpum* (Jacq.) Griseb., *Samanea saman* (Jacq.) Merr., *Senna siamea* (Lam.) H.S. Irwin & Barneby, dan *Paraserianthes falcataria* (L.) I.C. Nielsen. Jenis-jenis tersebut dapat berasosiasi dengan Bakteri *Azotobacter* dan *Rhizobium* untuk fiksasi nitrogen (Desbrosses dan Stougaard 2011; Suharno dan Sancayaningsih 2013; Mahmud *et al.*, 2020). Penanaman jenis pionir dapat meningkatkan kesuburan tanah dengan menghasilkan akar eksudat yang menarik bakteri tertentu, menciptakan iklim mikro,

dan mencegah erosi karena kemampuan sistem perakaran untuk menahan tanah dari gerusan air (Lee *et al.*, 2020). Selanjutnya adalah penanaman tanaman sisipan berdaur panjang, yang diutamakan jenis lokal. Semakin beragam jenis tanaman sisipan yang ditanam akan mengakibatkan semakin beragamnya natural regeneration (Yunanto, 2018). Selain itu semakin bertambahnya umur reklamasi tambang juga akan semakin meningkatkan indeks keanekaragaman hayati (Haigh *et al.*, 2020; Lewis dan Rosales 2020).

Lahan bekas tambang pada umumnya tidak subur. Kekurangan bahan organik dapat menyebabkan tanah tidak subur, pH rendah, kandungan liat tinggi, atau unsur hara yang sangat rendah (Hartati dan Sudarmadji 2016; Feng *et al.*, 2019; Nadalia dan Pulunggono, 2020). Kondisi tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan dan keragaman tanaman (jumlah tanaman hidup dan tumbuh). Nutrisi tersebut menjadi tersedia untuk tanaman namun dikendalikan oleh interaksi antara sifat fisik, kimia, dan sifat biologis. Ketersediaan unsur hara pada tanah sangat penting untuk pertumbuhan dan keragaman tanaman. Kesuburan tanah adalah tidak terlepas dari keseimbangan sifat fisik, kimia, dan biologis. Namun, untuk meningkat keanekaragaman perlu dilakukan proses pengayaan, yaitu menanam jenis tanaman lainnya (Yunanto, 2018; Yunanto and Amanah, 2019).

4. KESIMPULAN

Secara umum, rata-rata diameter pohon di areal reklamasi pada semua plot adalah 18,70 cm (aritmatika) dan 18,99 cm (kuadrat). Grafik yang dibentuk dari hubungan jumlah pohon dengan kelas diameter dibagi menjadi tiga bentuk, yaitu J-shape terbalik, kurva sebaran normal yang tidak sempurna dan kurva sebaran normal yang sempurna. Rata-rata tinggi total untuk semua plot adalah 11.87 m untuk aritmatika dan 12.25 m untuk Lorey.

Hasil sampling dari 10 plot lingkaran (1 ha) didapatkan bahwa area reklamasi tersebut mencapai tingkat keberhasilan 96,40%. Beberapa parameter yang belum terpenuhi diantaranya adalah jumlah tanaman, cover crop dan penutupan tajuk. Untuk meningkatkan keanekaragaman perlu dilakukan proses pengayaan, yaitu menanam jenis tanaman lainnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Amanah F, Yunanto T. 2019. Mine reclamation period to successfully meet criteria in Indonesia. In: AB Fourie, M Tibbett (eds). Mine Closure 2019; Proceedings of the 13th International Conference on Mine Closure. Australian Centre for Geomechanics, Perth. DOI: 10.36487/ACG_rep/1915_103_Amanah
- Astriyani, Pambudhi F. 2010. Analisis Bentuk Struktur dan Hubungannya Dengan Riap Tegakan Tunggal Hutan Alami Produksi. Jurnal Kehutanan Tropika Humida. 3 (1): 28-41.
- Brodbeck, F. (2004). *Structure and Processes in Traditional Forest Gardens of Central Sulawesi, Indonesia*. Göttingen: Cuvillier Verlag Göttingen.
- Buta M, Blaga G, Paulette L, Păcurar I, Rosca S, Borsai O, Grecu F, Sînziana PE, Negrusier C. 2019. Soil reclamation of abandoned mine lands by revegetation in Northwestern Part of Transylvania: A 40-year retrospective study. Sustainability 11: 1-18. DOI: 10.3390/su11123393.
- Cain, S. A. (1938). The species-area curve. *The American Midland Naturalist*, 573-581.
- Desbrosses GJ, Stougaard J. 2011. Root nodulation: A paradigm for how plant-microbe symbiosis influences host developmental pathways. *Cell Host Microbe* 10 (4): 348-58. DOI: 10.1016/j.chom.2011.09.005.
- Donggan, G., Zhongke, B., Tieliang, S., Hongbo, S., & Wen, Q. (2011). Impacts of Coal Mining on the aboveground vegetation and soil quality: a case study of Qinxin Coal Mine in Shanxi Province, China. *Clean – Soil, Air, Water*, 219-225.
- Doupé, R. G., & Lymbery, A. J. (2005). Environmental risks associated with beneficial end uses of mine lakes in Southwestern Australia. *Mine Water and the Environment*, 134-138.
- Feng Y, Wang J, Bai Z, Reading L. 2019. Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review. *Earth-Sci Rev* 191: 12-25. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.02.015.

- Ganderton, P., & Coker, P. (2005). *Environmental Biogeography*. Essex: Pearson Education.
- Gonçalves, F. M. P., Revermann, R., Gomes, A. L., Aidar, M. P. M., Finckh, M. and Juergens, N. 2017. Tree Species Diversity and Composition of Miombo Woodlands in South-Central Angola: A Chronosequence of Forest Recovery after Shifting Cultivation. *International Journal of Forestry Research*, Volume 2017, 13 pages. <https://doi.org/10.1155/2017/6202093>
- Haigh M, Woodruffe P, D'Aucourt M, Aun E, Wilding G, Fitzpatrick S, Filcheva E, Noustorova M. 2020. Successful ecological regeneration of opencast coal mine spoils through forestation: From cradle to grove. *Minerals* 10: 1-27. DOI: 10.3390/min10050461
- Hartati, Sudarmadji T. 2016. Relationship between soil texture and soil organic matter content on mined-out lands in Berau, East Kalimantan, Indonesia. *Nusantara Biosci* 8: 83-88. DOI: 10.13057/nusbiosci/n080115.
- Hendrychová, M. (2008). Reclamation success in post-mining landscapes in the Czech Republic: A review of pedological and biological studies. *Journal of Landscape Studies* 1, 63–78.
- Heras, M. M., Nicolau, J. M., & Espigares, T. (2008). Vegetation succession in reclaimed coal-mining slopes in a Mediterranean-dry environment. *Ecological Engineering* 34, 168-178.
- James, F. C., & Shugart, H. H. (1970). *A quantitative method of habitat description*. National Audbon Society.
- Lamprecht, H. (1989). *Silviculture in the tropics*. Eschborn, Rossdorf: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.
- Lee JT, Chu MY, Lin YS, Kung KN, Lin WC, LMJ. 2020. Root traits and biomechanical properties of three tropical pioneer tree species for forest restoration in landslide areas. *Forests* 11: 1-17. DOI: 10.3390/f11020179
- Lewis S, Rosales J. 2020. Restoration of forested lands under bauxite mining with emphasis on Guyana during the first two decades of the XXI century: A review. *J Geosci Environ Prot* 8: 41-67. DOI: 10.4236/gep.2020.811003.
- Lloyd, M. V., Doherty, M. D., Jeffree, R. A., John, J., Majer, J. D., Osborne, J. M., & Nichols, O. G. (2002). *Managing the impacts of The Australian minerals industry on biodiversity*. London: Australian Centre for Mining Environmental.
- Lu, Y. (1999). *Development of models for sustainable management of the mixed tropical rain*. Dissertation University of Göttingen. Göttingen: Verlag Enrich Goltze GmbH & Co. KG.
- Mahmud K, Makaju S, Ibrahim R, Missaoui A. 2020. Current progress in nitrogen fixing plants and microbiome research. *Plants* 9: 1-17. DOI: 10.3390/plants9010097.
- Nadalia D, Pulunggono HB. 2020. Soil characteristics of post-mining reclamation land and natural soil without top soil. *J Degrad Min Land Manag* 2 (7): 2011-2016. DOI: 10.15243/

- jdmlm.2020.072.2011.
- Pietrzykowski, M. (2008). Reclamation and reconstruction of terrestrial ecosystems on mine sites - ecological effectiveness assessment. *Energy Vol. 2: Coal Energy*, 120-151.
- Pratiwi, Narendra BH, Siregar CA, Turjaman M, Hidayat A, Rachmat HH, Mulyanto B, Suwardi, Iskandar, Maharani R, Rayadin Y, Prematuri R, Turjaman M, Sato T, Tawaraya K. 2020. The impact of nickel mining on soil properties and growth of two fast-growing tropical trees species. *Intl J For Res* 2020: 1-9. DOI: 10.1155/2020/8837590.
- Safitri, B., Wahyudi dan Christophoros. 2020. Distribusi diameter tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria*) sebagai indikator pertumbuhan normal. *Jurnal Hutan Tropika (Tropical Forest Journal)* Vol. XV (1): 43-50.
- Slingenberg, A., Braat, L., Windt, H., Rademaekers, K., Eichler, L., & Turner, K. (2009). *Study on understanding the causes of biodiversity loss and the policy assessment framework*. Rotterdam: ECORYS Nederland BV.
- Staporn, D., Marod, D., Wongprom, J., and Diloksumpun, S. 2022. Drivers of Native Species Regeneration in the Process of Restoring a Dry Evergreen Forest from Exotic Tree Plantations in Northeastern Thailand. *Forests* 2022, 13, 1321. <https://doi.org/10.3390/f13081321>
- Subowo, G. (2011). Penambangan sistem terbuka ramah lingkungan dan upaya reklamasi pascatambang untuk memperbaiki kualitas sumberdaya lahan dan hayati tanah. *Jurnal Sumberdaya Lahan Vol. 5 No. 2*, 83-94.
- Suharno, Sancayaningsih RP. 2013. Arbuscular Mycorrhizae Fungi: The potential use of heavy metal mycorrhizo-remediation technology in mined field rehabilitation. *Bioteknologi* 10: 31-42.
- Supriyanto and Irawan, U.S. 2001. Technique for Measuring Canopy Cover and Canopy Opening Using a Spherical Densimeter. *Laboratorium Silvikultur SEAMEOBIOTROP*. Bogor, Indonesia
- Unanaonwi, O. E. and Amonum, J. I. 2017. Effect of Mining Activities on Vegetation Composition and nutrient status of Forest Soil in Benue Cement Company, Benue State, Nigeria. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)* Vol 2 (1): 297-305. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.1.3>
- Yunanto T. 2018. Site and Vegetation Development after Coal Mine Reclamation in Kalimantan, Indonesia. [Dissertation]. University of Göttingen, Göttingen.
- Yunanto T, Amanah F, Wisnu NP. 2021. The possibility of reclamation criteria success in Indonesia: Soil condition, vegetation structure and species composition. *J Degrad Min Land Manag* 9: 3201-3210. DOI: 10.15243/jdmlm.2021.091.3201.
- Zöhrer, F. (1980). *Forstinventur. Schriftenreihe „Pareys Studentexte“* 26. Hamburg: Parey.