

KORELASI DAN SIGNIFIKANSI FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PERTUMBUHAN TANAMAN KARET BELUM MENGHASILKAN: SEBUAH PENDEKATAN EFISIENSI BIAYA

*Correlation and Significance of Factors Affecting Immature Rubber Tree Growth: A
Cost Efficiency Approach*

JUNAIDI¹, Syarifah Aini PASARIBU, Jamin SAPUTRA, dan Ernita BUKIT

Unit Riset Sungei Putih, Pusat Penelitian Karet, Deli Serdang, Sumatra Utara, 20585

E-mail: junaidi.puslitkaret@gmail.com

Diterima : 12 Maret 2024 / Disetujui : 18 Juli 2024

Abstract

Observational research was conducted to compare the upkeeping intensity and growth of rubber immature plants in North Sumatra including South Tapanuli (Tapsel), Simalungun, and Serdang Bedagei (Sergei) regions. Data were collected from the 2023 reports and were analyzed through Analysis of Variance (ANOVA), Agglomerative Hierarchical Clustering (AHC), and Principal Component Analysis (PCA). The results showed that the clonal purity was not significantly different among observed regions. Stem girth variation in the Tapsel region ($23.86 \pm 5.25\%$) was not significantly different from Simalungun ($20.02 \pm 3.87\%$), while Sergei ($12.45 \pm 4.81\%$) was significantly lower than the others. The percentage of girth deviation in Tapsel ($-32.06 \pm 12.24\%$) was lower than Simalungun and Sergei ($-9.66 \pm 15.72\%$ and $0.43 \pm 5.73\%$ respectively). PCA results showed that stem girth was negatively correlated with altitude, average rainy days, and average rainfall. For agronomic factors, the frequency of Imperata's weeding, chemical weeding, inorganic fertilization, disease control, and disease detection were positively correlated with stem girth, while organic fertilization frequency was negatively correlated. Other parameters including the frequency of crown management, tree replacement, *Mucuna* upkeeping, woody plants weeding, manual weeding, census and consolidation, and inorganic fertilization dosage had no significant correlation on stem girth. The cost efficiency might be imposed

through reducing the intensity of negatively and insignificantly correlated parameters to stem girth.

Keywords: *Hevea brasiliensis*; immature period; growth, girth; costs

Abstrak

Penelitian observatif dilakukan untuk membandingkan intensitas pemeliharaan dengan pertumbuhan Tanaman Belum Menghasilkan (TBM) karet di Sumatra Utara, meliputi wilayah Tapanuli Selatan (Tapsel), Simalungun dan Serdang Bedagei (Sergei). Data kondisi lingkungan dan kultur teknis dikumpulkan dari laporan tahun 2023. Analisis statistik yang dilakukan meliputi *Analysis of Variance* (ANOVA), *Agglomerative Hierarchical Clustering* (AHC), dan *Principal Component Analysis* (PCA). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa persentase kemurnian klon karet tidak berbeda nyata antar wilayah yang diamati. Variasi lilit batang di wilayah Tapsel mencapai $23,86 \pm 5,25\%$, tidak berbeda nyata dibanding Simalungun ($20,02 \pm 3,87\%$), sedangkan Sergei ($12,45 \pm 4,81\%$) nyata lebih rendah dibanding dua wilayah lainnya. Persentase deviasi lilit batang di wilayah Tapsel ($-32,06 \pm 12,24\%$) lebih rendah dibanding Simalungun dan Sergei (masing-masing $-9,66 \pm 15,72\%$ dan $0,43 \pm 5,73\%$). Hasil PCA untuk parameter lingkungan dan kondisi tanaman

menunjukkan bahwa lilit batang berkorelasi negatif terhadap ketinggian tempat, rata-rata hari hujan dan rata-rata curah hujan. Faktor-faktor agronomis meliputi frekuensi pengendalian lalang, frekuensi pengendalian gulma khemis, frekuensi pemupukan anorganik, frekuensi pengendalian penyakit, dan frekuensi deteksi penyakit berkorelasi positif terhadap lilit batang, sedangkan frekuensi pemupukan organik lilit batang berkorelasi negatif. Parameter lainnya yaitu frekuensi manajemen tajuk, frekuensi penyulaman, frekuensi pemeliharaan *Mucuna bracteata*, frekuensi dongkel anak kayu, frekuensi pengendalian gulma manual, frekuensi sensus dan konsolidasi, dan dosis pemupukan anorganik tidak berpengaruh signifikan terhadap lilit batang. Upaya efisiensi biaya dapat dilakukan dengan menurunkan intensitas pemeliharaan untuk parameter yang berkorelasi negatif dan tidak signifikan terhadap lilit batang.

Kata kunci: *Hevea brasiliensis*; fase belum menghasilkan; pertumbuhan; lilit batang; biaya

PENDAHULUAN

Perusahaan perkebunan karet (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) dituntut melakukan efisiensi biaya dalam kondisi harga karet alam yang masih rendah. Topik ini telah menarik perhatian para peneliti untuk mengkaji dan merumuskan upaya meningkatkan daya saing agribisnis karet. Modifikasi jarak tanam yang dikombinasikan dengan sistem polikultur berbasis karet merupakan salah satu upaya peningkatan efisiensi penggunaan lahan (Huang et al., 2020; Qi et al., 2021). Selain itu, modifikasi kultur teknis dilaporkan dapat meningkatkan potensi pendapatan dan mengurangi biaya, di antaranya pemilihan jenis klon yang tepat (Agustina dan Herlinawati, 2017), penundaan buka sadap (Rinojati et al., 2018), peningkatan efisiensi pemupukan (Saputra, 2018), penerapan penyadapan intensitas rendah (Sumarmadji et al., 2017), dan penggunaan stimulan gas etilen (Rinojati dan Rouf, 2020).

Tanaman karet memiliki fase tanaman belum menghasilkan (TBM) yang cukup panjang. Kriteria matang sadap

ditentukan bukan berdasarkan umur atau perkembangan generatif tanaman, melainkan berdasarkan ukuran lilit batang tanaman. Di beberapa perkebunan karet, matang sadap individu dicapai bila lilit batang telah mencapai 45 cm, diukur pada ketinggian 100 cm dari pertautan okulasi, sedangkan satu areal tanaman dapat mulai disadap bila 65% dari populasi telah memenuhi kriteria matang sadap (Balai Penelitian Sembawa, 2009). Beberapa perkebunan lain menerapkan standar yang berbeda, misalnya lilit batang minimal 50 cm dan persentase matang sadap yang lebih tinggi (Gunasekera et al., 2007; Rinojati et al., 2018). Dalam skala perkebunan monokultur, matang sadap di Indonesia, umumnya dapat dicapai 5 – 6 tahun.

Kegiatan pemeliharaan TBM sangat menentukan pertumbuhan dan potensi produksi karet. Pemeliharaan yang umum dilakukan di areal TBM meliputi penyulaman, pengendalian gulma, pengendalian hama dan penyakit, dan pemupukan (Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian, 2008). Fase TBM karet yang cukup panjang menyebabkan akumulasi biaya investasi cukup tinggi (Boerhendy dan Amypalupy, 2011). Secara spesifik, upaya efisiensi biaya pemeliharaan TBM belum banyak diteliti. Hal ini kemungkinan disebabkan efek perlakuan tidak langsung terlihat dalam jangka pendek sehingga penelitian eksperimental jarang dilakukan. Oleh sebab itu, kajian efisiensi biaya dapat dilakukan melalui pendekatan penelitian observatif dengan membandingkan intensitas pemeliharaan dan realisasi pertumbuhan tanaman.

Wilayah Sumatera Utara merupakan salah satu sentra perkebunan karet di Indonesia (Direktora Jenderal Perkebunan, 2022). Wilayah ini diuntungkan oleh curah hujan tinggi dan relatif merata sepanjang tahun. Perkebunan karet di wilayah ini, terutama perusahaan swasta dan negara, menerapkan pemeliharaan intensif sehingga dinilai sesuai dijadikan objek kajian efisiensi biaya pemeliharaan TBM. Studi ini bertujuan mengidentifikasi kegiatan kultur teknis yang mempengaruhi pertumbuhan TBM karet, terutama lilit batang tanaman. Evaluasi dilakukan terhadap kegiatan pemeliharaan TBM selama tahun 2023. Hasil studi ini diharapkan dapat menjadi

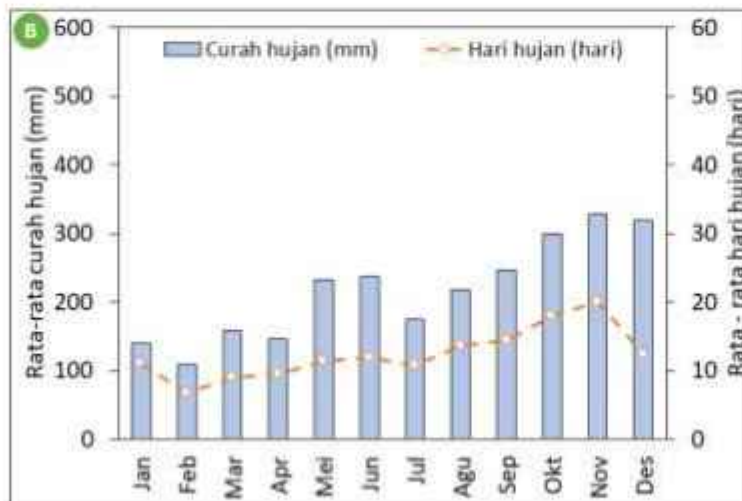
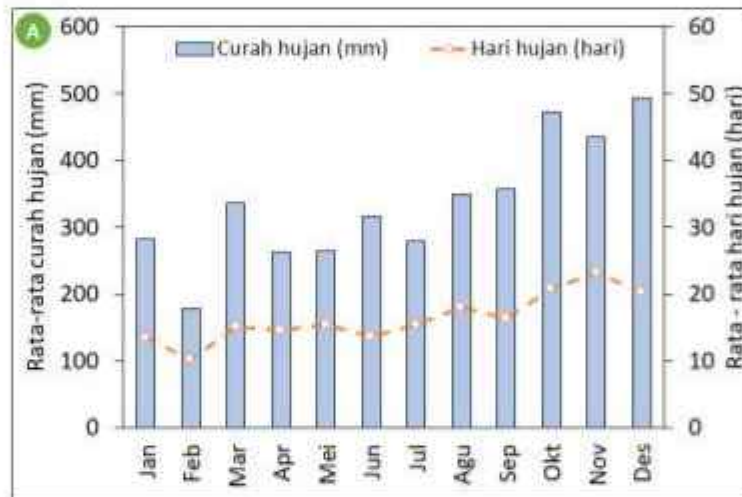
pertimbangan dalam meningkatkan daya saing perkebunan karet.

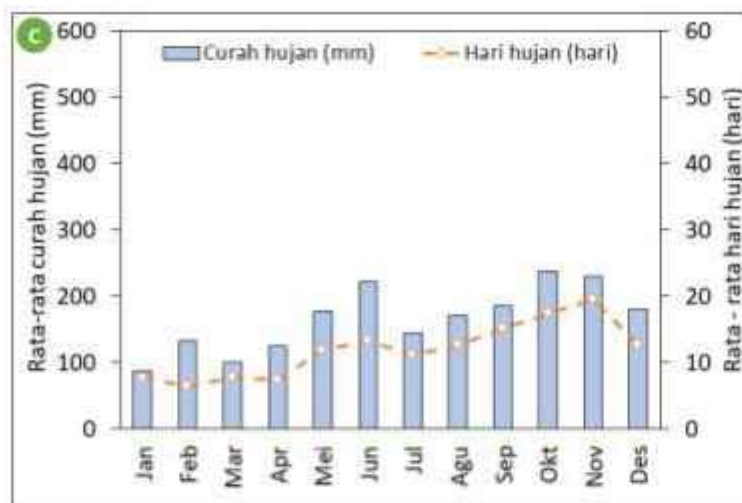
BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Objek Pengamatan

Studi korelasi dan signifikansi kegiatan kultur teknis yang mempengaruhi pertumbuhan TBM karet dilaksanakan pada Januari - Februari 2024. Pengamatan dilakukan di tiga kebun pada wilayah yang berbeda di Sumatra Utara yaitu Tapanuli Selatan (Tapsel), Simalungun, dan Serdang

Bedagei (Sergei). Ketiga wilayah ini merupakan sentra perkebunan karet yang dibudidayakan secara monokultur. Tapanuli Selatan memiliki karakteristik wilayah yang berbukit dengan curah hujan yang tinggi (Gambar 1A.), sedangkan Simalungun dan Serdang Bedagei memiliki lahan datar sampai bergelombang dengan curah hujan tidak setinggi di Tapanuli Selatan. Di kedua wilayah ini, musim hujan kecil terjadi pada bulan Mei - Juni, sedangkan musim hujan besar terjadi pada bulan September - Desember (Gambar 1B. dan 1C.).





Gambar 1. Rata-rata curah hujan dan hari hujan dari tahun 2019 sampai 2023 pada wilayah Tapanuli Selatan (A), Simalungun (B), dan Serdang Bedagei (C).

Sumber: hasil pengamatan kebun

Figure 1. The average rainfall and rainy days from 2019 to 2023 in Tapanuli Selatan (A), Simalungun (B), and Serdang Bedagei. Sources: estate observations

Performa TBM karet diamati pada 46 titik pengamatan, masing-masing dengan jumlah 30 tanaman sampel. Di wilayah Tapsel, pengamatan dilakukan pada areal tanaman berumur 30 bulan (tahun tanam 2021) dan 36 bulan (tahun tanam 2020) dengan total 6 titik pengamatan. Di wilayah Simalungun, pengamatan dilakukan pada areal berumur 14 bulan (tahun tanam 2022) dan 48 bulan (tahun tanam 2019) dengan total 26 titik pengamatan, sedangkan di Sergej pengamatan dilakukan pada areal berumur 15 bulan (tahun tanam 2022) dan 39 bulan (tahun tanam 2020) dengan total 14 titik pengamatan.

Parameter Pengamatan

Kegiatan kultur teknis yang mempengaruhi pertumbuhan TBM karet, dalam hal ini PDLB dan PKKK, dibedakan menjadi faktor lingkungan dan kondisi tanaman serta faktor kultur teknis. Data dikumpulkan dari laporan masing-masing kebun tahun 2023. Faktor lingkungan dan kondisi tanaman yang dianalisis meliputi umur tanaman karet (UMRK), koefisien keragaman lilit batang (CVTK), ketinggian tempat (KTTK), rata-rata curah hujan (RCHJ), dan rata-rata hari hujan (RRHJ). Kegiatan kultur teknis yang dianalisis meliputi frekuensi manajemen tajuk (FMTK), frekuensi sensus dan konsolidasi (FSKK),

frekuensi penyulaman karet (FPTK), frekuensi pengendalian penyakit (FPPK), frekuensi pemeliharaan *Mucuna bracteata* (FPMB), frekuensi deteksi penyakit (FDPK), frekuensi dongkel anak kayu (FDAK), frekuensi pemupukan organik (FPOG), frekuensi pengendalian gulma manual (FPGM), frekuensi pemupukan anorganik (FPAG), frekuensi pengendalian lalang (*Imperata cylindrica*) (FPLL), dosis pupuk anorganik (DPAG), dan frekuensi pengendalian gulma khemis (FPGK). Standar kultur teknis untuk TBM di kebun-kebun yang diamati disajikan pada Tabel 1.

Pada masing-masing titik pengamatan dilakukan pengukuran lilit batang dan perhitungan kemurnian klon menggunakan 30 tanaman sampel. Lilit batang diukur pada ketinggian 100 cm dari pertautan okulasi. Persentase deviasi lilit batang (PDLB) adalah persentase penyimpangan lilit batang tanaman di lapangan terhadap lilit batang standar. Berhubung jenis dan kemurnian klon di lapangan bervariasi, maka standar lilit batang menggunakan asumsi matang sadap 45 cm dalam 5 tahun (60 bulan), sehingga pertumbuhan lilit batang standar yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,75 cm/bulan. PDLB dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{PDLB} = \frac{\text{LBT} - \text{LBS}}{\text{LBS}} \times 100$$

Dimana/*where*:

PDLB = Persentase deviasi lilit batang (%) / *girth deviation percentage (%)*

LBT = Lilit batang tanaman (cm) / *girth measured (cm)*

LBS = Lilit batang tanaman standar (cm) / *standard girth (cm)*

Tabel 1. Standar kegiatan kultur teknis untuk tanaman belum menghasilkan
Table 1. Standard annual agronomical practices for immature plants

Kegiatan Activity	Frekuensi (kali/tahun) Frequency (times/year)		
	Tapsel	Simalungun	Sergei
Manajemen tajuk / <i>Crown management</i>	0 - 1	1 - 10	3 - 6
Penyulaman / <i>Rubbers' replacement</i>	0	0 - 10	0 - 3
Pemeliharaan kacang / <i>Legumes upkeeping</i>	6 - 7	0 - 3	6 - 12
Dongkel anak kayu / <i>Woody plants weeding</i>	2 - 6	0 - 10	0 - 12
Pengendalian gulma manual / <i>Manual weeding</i>	2 - 4	0 - 9	0
Pengendalian lalang / <i>Imperata weeding</i>	1 - 6	10 - 12	12
Pengendalian gulma khemis / <i>Chemical weeding</i>	0 - 1	7 - 12	12
Sensus dan konsolidasi / <i>Census and consolidation</i>	1	2 - 9	1
Pengendalian penyakit / <i>Diseases management</i>	0	11	12
Deteksi penyakit / <i>Disease detection</i>	1 - 3	9 - 11	12
Pemupukan organik / <i>Organic fertilizing</i>	2 - 3	1 - 2	0
Pemupukan anorganik / <i>Inorganic fertilizing</i>	3 - 4	7 - 8	6

Kemurnian klon menggambarkan tingkat kemurnian dari jenis klon yang dituliskan dalam laporan manajemen. Identifikasi klon dilakukan melalui sampel daun yang telah tumbuh sempurna pada masing-masing titik pengamatan. Persentase kemurnian klon karet (PKKK) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{PKKK} = \frac{\text{JKD}}{\text{JDS}} \times 100$$

Dimana/*where*:

PKKK = Persentase kemurnian klon karet (%) / *rubbers' clonal purity (%)*

JKD = Jumlah klon dominan / *number of the dominant clone*

JDS = Total daun sampel yang diamati / *total observed leaves*

untuk membandingkan PDLB dan PKKK masing-masing kebun. Pengelompokan menggunakan *Agglomerative Hierarchical Clustering* (AHC) untuk mengelompokkan faktor-faktor berdasarkan kemiripan data (Ah-Pine, 2018; Cohen-addad et al., 2019). Untuk melihat hubungan antar faktor dilakukan *Principal Component Analysis* (PCA) (Smith, 2002; Greenacre et al., 2023).

Analisis Data

Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak XLSTAT 2019 versi 21.4.63353 (Addinsoft Inc., New York, USA). Analisis deskriptif dilakukan untuk masing-masing faktor. *Analysis of Variance* (ANOVA) dilanjutkan *Tukey Multiple Comparison* pada $\alpha = 0,05$ dilakukan

Dari hasil PCA, faktor-faktor dibedakan menjadi faktor yang tidak berkorelasi signifikan terhadap PDLB, faktor yang berkorelasi negatif dan faktor yang berkorelasi positif. Efisiensi biaya terutama dilakukan untuk faktor-faktor yang berkorelasi negatif dan tidak berkorelasi signifikan terhadap PDLB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi Kondisi Tanaman

Hasil pengamatan pada 46 titik pengamatan menunjukkan kondisi tanaman, lingkungan, dan intensitas pemeliharaan TBM yang bervariasi. Semua parameter kondisi tanaman dan lingkungan menunjukkan koefisien keragaman di atas 0,15 kecuali RRHJ yang memiliki koefisien keragaman 0,11 (Tabel 2.). Demikian halnya dengan parameter intensitas pemeliharaan menunjukkan variasi yang tinggi. Semua parameter agronomis menunjukkan koefisien keragaman di atas 0,2 (Tabel 3.). Variasi tertinggi ditunjukkan oleh parameter Frekuensi Penyulaman Tanaman Karet (FPTK) dengan koefisien keragaman mencapai 1,25. Hal ini menunjukkan bahwa frekuensi penyulaman bervariasi dari satu kebun dengan kebun lainnya. Variasi terendah dijumpai parameter FPAG dengan koefisien keragaman sebesar 0,22 yang menunjukkan bahwa frekuensi pemupukan anorganik relatif sama di semua kebun.

Perbandingan antar wilayah menggunakan ANOVA menunjukkan bahwa PKKK tidak berbeda nyata antar wilayah yang diamati (Gambar 2A.). Nilai PKKK di wilayah Tapsel rata-rata $64,65 \pm 3,63\%$, sedangkan di Simalungun dan Sergei masing-masing sebesar $55,22 \pm 16,71\%$ dan $59,81 \pm 14,79\%$. Meskipun tidak ada standar minimal tingkat kemurnian klon yang diacu saat ini, namun angka di bawah 70% dinilai rendah, bahkan di wilayah Simalungun kemurnian klon hanya 50-an persen yang berarti hampir setengah dari populasi tanaman adalah klon campuran. Beberapa faktor yang menentukan kemurnian klon di lapangan antara lain: kemurnian klon di pembibitan, kedisiplinan penanaman, tingkat kematian di lapangan, dan ketersediaan bahan tanam untuk penyulaman.

Kemurnian klon yang rendah dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman tidak seragam, yang tercermin dari variasi lilit batang yang tinggi. Hal ini disebabkan masing-masing klon memiliki potensi kecepatan pertumbuhan lilit batang yang berbeda sebagaimana dilaporkan oleh Daslin (2011) dan Sayurandi et al. (2014). Namun dalam skala perkebunan komersil, semua klon diharapkan dapat mulai disadap dalam jangka waktu 5 tahun, sehingga pertumbuhan lilit batang minimal diharapkan tidak kurang dari 0,75 cm/bulan. Variasi lilit batang di wilayah Tapsel mencapai $23,86 \pm 5,25\%$, tidak berbeda nyata terhadap wilayah Simalungun ($20,02 \pm 3,87\%$), sedangkan di wilayah Sergei variasi lilit batang nyata lebih rendah ($12,45 \pm 4,81\%$) (Gambar 2B.). Keceragaman pertumbuhan tanaman di lapangan juga dipengaruhi oleh kualitas bibit dan proses penanaman. Bibit yang jagur dan seragam, serta proses penanaman yang baik, dapat meminimalkan kematian di lapangan sehingga penyulaman dapat ditekan.

Pertumbuhan lilit batang TBM di wilayah Tapsel dan Simalungun cenderung rendah bila dibandingkan dengan lilit batang standar. Persentase Deviasi Lilit Batang (PDLB) pada kedua wilayah tersebut masing-masing mencapai $-32,06 \pm 12,24\%$ dan $-9,66 \pm 15,72\%$ (Gambar 2C.). Nilai minus (-) menunjukkan lilit batang lebih rendah dibanding pertumbuhan normal. Bila dikaitkan dengan kultur teknis yang diterapkan (Tabel 1.), di wilayah Tapsel penyulaman tidak dapat dilakukan karena keterbatasan bibit sehingga di lapangan banyak dijumpai tanaman kerdil yang seharusnya diganti. Di Simalungun, penyulaman dilakukan sampai 10 kali per tahun mengindikasikan tingginya tingkat kematian di lapangan. Tanaman sisipan belum dapat mengejar pertumbuhan tanaman utama menyebabkan kondisi tanaman yang bervariasi. Faktor lain adalah

Tabel 2. Ringkasan deskripsi statistik kondisi tanaman dan karakteristik lingkungan pada lokasi pengamatan
 Table 2. Summary of statistical description of plant condition and environmental characteristics at observation sites

Statistik Statistic	UMRK	PKKK	PDLB	CVTK	KTTK	RCHJ	RHHJ
Jumlah pengamatan Number of observation	46	46	46	46	46	46	46
Minimum	14	30,00	-45,10	0,07	50	1994	143
Minimum	48	89,29	14,54	0,31	200	4029	196
Maksimum	34	59,29	59,64	0,24	150	2035	53
Jangkauan Range	14	45,39	-22,07	0,15	50	1994	143
Kuartil ke-1 1-st quartile	30	60,00	-7,97	0,19	50	2605	149
Median	39	70,73	3,42	0,22	110	2605	149
Kuartil ke-3 3-rd quartile	29	57,85	-9,51	0,18	88	2605	153
Rata-rata Average	51,14	15,20	16,18	0,06	51,55	621,58	17,03
Simpangan baku Standard deviation	50,0	0,26	-1,70	0,32	0,59	0,24	0,11
Koefisien keragaman Coefficient variation							

Keterangan/remark:

UMRK : Umur tanaman karet (bulan) / rubber trees' age (months)

PKKK : Persentase kemurnian klon karet (%) / rubbers' clonal purity (%)

PDLB : Persentase deviasi lilit batang (%) / rubbers' girth deviation percentage (%)

CVTK : Koefisien keragaman lilit batang tanaman karet / coefficient variation of rubbers' girth

KTTK : Ketinggian tempat (mdpl) / altitude (masl)

RCHJ : Rata-rata curah hujan (mm/tahun) / rainfall (mm/year)

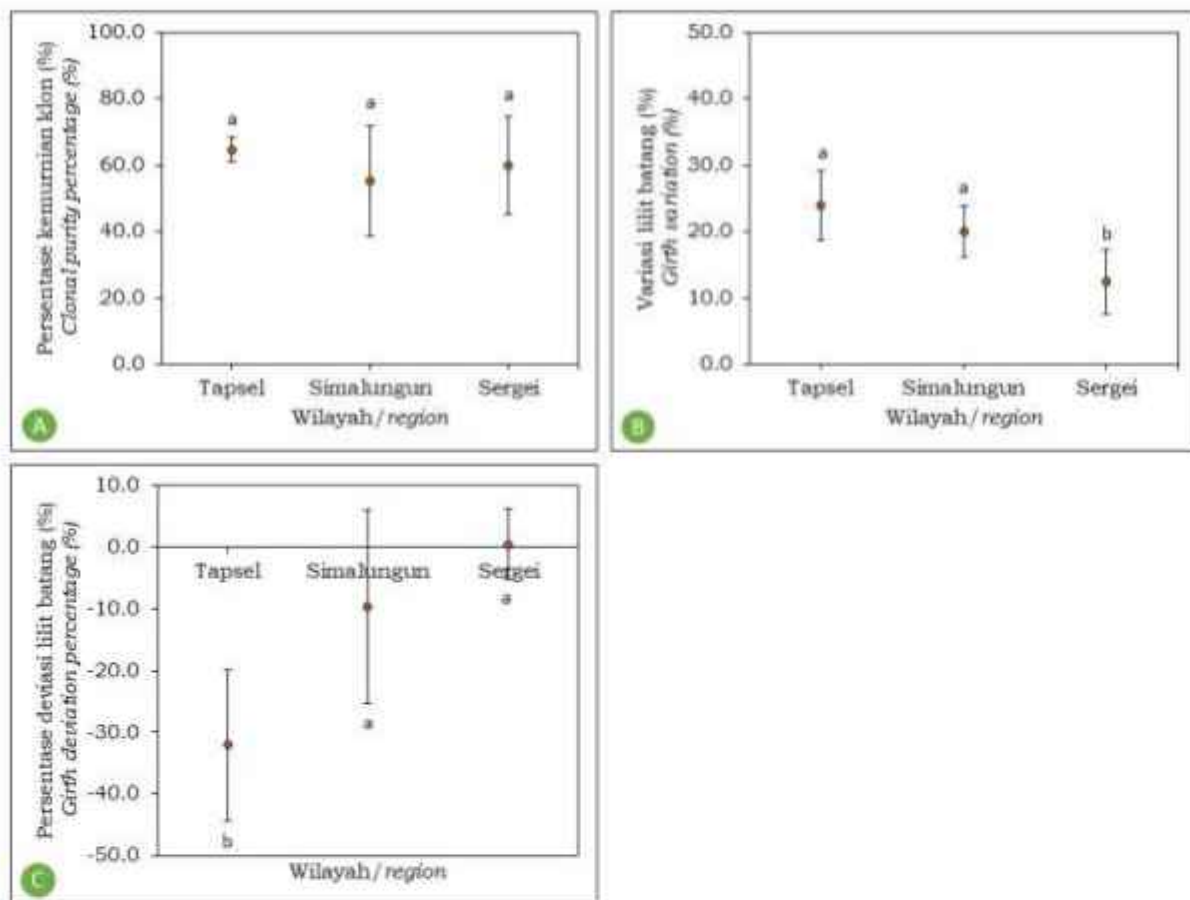
RHHJ : Rata-rata hari hujan (hari/tahun) / rainy day (days/year)

Tabel 3. Ringkasan deskripsi statistik kegiatan agronomis pada lokasi pengamatan
 Table 3. Summary of statistical description of agronomical practices at observation sites

Statistik Statistic	FMTK	FPTK	FPMB	FDAK	FPGM	FPLL	FPGK	FSKK	FPPK	FDPK	FPOG	FPAG	DPAG
Jumlah pengamatan Number of observation	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Minimum	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	3	450
Maximum	10	10	12	12	9	12	12	9	12	12	3	8	1250
Jangkauan Range	10	10	12	12	9	11	12	8	12	11	3	5	800
Kuartil ke-1 1-st quartile	1	0	3	0	0	10	7	1	11	9	0	6	450
Median	3	0	3	2	0	12	12	2	11	11	1	7	660
Kuartil ke-3 3-rd quartile	10	10	6	10	9	12	12	9	12	12	2	7	700
Rata-rata Average	5	4	5	5	3	10	9	4	10	9	1	6	715
Simpangan baku Standard deviation	3,98	4,57	4,07	5,21	4,13	2,98	4,00	3,65	3,89	3,20	0,93	1,39	320,93
Koefisien keragaman Coefficient variation	0,82	1,25	0,87	1,04	1,24	0,29	0,45	0,95	0,39	0,34	0,83	0,22	0,45

Keterangan/remark:

- FMTK : Frekuensi manajemen tajuk (kali/tahun)/ crown management (times/year)
- FPTK : Frekuensi penyulaman karet (kali/tahun)/rubbers' replacement (times/year)
- FPMB : Frekuensi pemeliharaan LCC (kali/tahun)/LCC upkeeping (times/year)
- FDAK : Frekuensi dongkel anak kayu (kali/tahun)/woody plants weeding (times/year)
- FPGM : Frekuensi pengendalian gulma manual (kali/tahun)/manual weeding (times/year)
- FPLL : Frekuensi pengendalian lalang (kali/tahun)/imperata weeding (times/year)
- FPGK : Frekuensi pengendalian gulma khemis (kali/tahun)/chemical weeding (times/year)
- FSKK : Frekuensi sensus dan konsolidasi (kali/tahun)/Census (times/year)
- FPPK : Frekuensi pengendalian penyakit/disease control (times/year)
- FDPK : Frekuensi deteksi penyakit/disease detection (times/year)
- FPOG : Frekuensi pemupukan organik/organic fertilizing (times/year)
- FPAG : Frekuensi pemupukan anorganik/anorganik fertilizing (times/year)
- DPAG : Dosis pupuk anorganik (g/tan./tahun)/inorganic fertilizer dosage (g/tree/year)



Gambar 2. Perbandingan kondisi tanaman di wilayah yang diamati, meliputi persentase kemurnian klon (A), persentase deviasi lilit batang (B), dan variasi lilit batang (C). Data merupakan nilai rata-rata \pm standar deviasi. Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut *Tukey Multiple Comparison* pada $\alpha = 0,05$.

Figure 2. Comparison of plant conditions in the observed region, including the percentage of clone purity (A), the girth deviation percentage (B), and the girth variation (C). Data were the average value \pm standard deviation. The same letters indicate no significant difference according to *Tukey Multiple Comparison* at $\alpha = 0.05$.

serangan penyakit daun. Wilayah Tapsel dikenal rentan penyakit gugur daun namun pengendalian penyakit sangat minim menyebabkan pertumbuhan tanaman terganggu. Di Simalungun, pengendalian penyakit dilaporkan sampai 11 kali per tahun yang mengindikasikan tingkat serangan yang tinggi di lapangan. Kondisi ini diduga mempengaruhi pertumbuhan tanaman sehingga lilit batang di kedua wilayah tersebut lebih rendah di banding standar. Adapun di wilayah Sergei, PDLB sekitar $0,43 \pm 5,73\%$ yang menunjukkan pertumbuhan tanaman relatif normal. Pemantauan secara periodik sangat penting untuk mengidentifikasi kendala-kendala di lapangan sejak dini. – Rouf et al. (2013)

menekankan pentingnya sensus lilit batang dan penyulaman sejak tahun pertama (TBM 1) untuk meningkatkan keragaan dan keseragaman TBM karet.

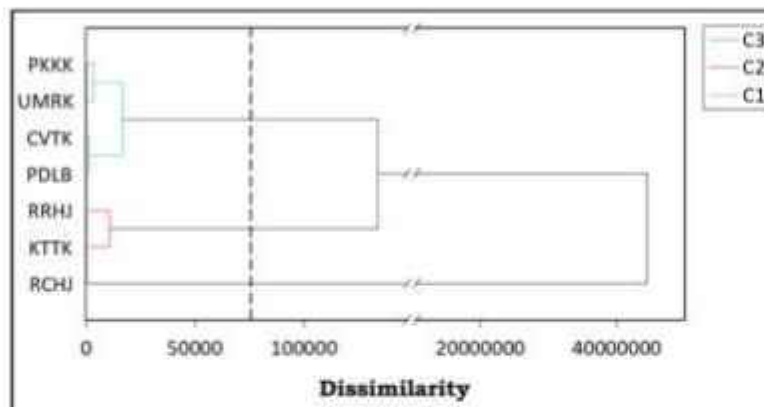
Hubungan antara Kondisi Lingkungan dan Pertumbuhan Tanaman

Parameter lingkungan yang diamati dalam penelitian ini meliputi UMRK, KTTK, RCHJ, dan RRHJ, sedangkan kondisi tanaman meliputi PKKK, CVTK, dan PDLB. Berdasarkan analisis *Agglomerative Hierarchical Clustering* (AHC), ketujuh faktor tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga cluster (Gambar 3.). Cluster 1 berisi PKKK, UMRK, CVTK, dan PDLB yang menunjukkan

bahwa parameter-parameter kondisi tanaman memiliki kesamaan karakteristik data. *Cluster II* yang berisi parameter yaitu RRHJ dan KTTK yang mengindikasikan kemiripan data antara ketinggian tempat dan jumlah hari hujan. Menariknya, *cluster III* hanya terdiri dari satu faktor yaitu RCHJ. Meskipun sama-sama faktor lingkungan, karakteristik data RCHJ dalam penelitian ini berbeda dibanding dua faktor lingkungan lainnya yaitu RRHJ dan KTTK.

Analisis korelasi Pearson menunjukkan bahwa faktor yang berpengaruh signifikan terhadap PDLB adalah RCHJ dan RRHJ, keduanya

berkorelasi negatif dengan koefisien masing-masing $-0,872$ dan $-0,863$ (Tabel 4.). Hal ini kemungkinan disebabkan data dari wilayah Tapsel yang memiliki curah hujan dan hari hujan tinggi namun pertumbuhan tanamannya relatif terhambat. Tidak ada faktor yang berkorelasi signifikan terhadap CVTK, kemungkinan disebabkan keseragaman tanaman di lapangan dipengaruhi banyak faktor yang saling berinteraksi. Korelasi Pearson hanya melihat hubungan satu faktor dengan faktor lainnya dimana nilai korelasi dihitung secara parsial, sedangkan di lapangan semua faktor saling berinteraksi. Untuk melihat korelasi antar faktor secara



Gambar 3. Dendrogram hasil *Agglomerative Hierarchical Clustering* (AHC) terhadap faktor lingkungan dan kondisi tanaman. Data yang dianalisis adalah rata-rata per wilayah per umur tanaman

Figure 3. A Dendrogram of the *Agglomerative Hierarchical Clustering* (AHC) results in the environmental factors and plant conditions. Data analyzed were the average per region per plant age

keseluruhan, maka dilakukan *Principal Component Analysis* (PCA).

Hasil PCA untuk parameter lingkungan dan kondisi tanaman menunjukkan varian data tersebar terutama pada sumbu F1 (61,67%), sedangkan pada sumbu F2 hanya 22,10% (Gambar 4A.). Pada sumbu F1, dua parameter utama yang menjadi perhatian yaitu PDLB dan CVTK berada pada sisi yang berbeda dengan *factor loading* masing-masing $-0,896$ dan $0,743$. Hal ini menunjukkan bahwa PDLB berkorelasi negatif terhadap CVTK, sesuai dengan hasil analisis korelasi Pearson. Dengan kata lain, lilit batang tanaman cenderung tinggi pada kondisi tanaman

yang seragam. Nilai PDLB yang tinggi dijumpai terutama di wilayah Sergei pada umur tanaman 39 bulan (Gambar 4B.). Bila dihubungkan dengan faktor lingkungan, PDLB berkorelasi negatif terhadap KTTK (*factor loading* 0,859), RRHJ (0,964), dan RCHJ (0,983), sejalan dengan hasil analisis korelasi Pearson yang dilakukan sebelumnya. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa KTTK, RRHJ, dan RCHJ memiliki korelasi positif terhadap CVTK yang menunjukkan bahwa ketinggian tempat, curah hujan, dan hari hujan cenderung menurunkan keseragaman tanaman.

Hasil analisis menunjukkan bahwa

Tabel 4. Matrik korelasi Pearson faktor-faktor lingkungan dan kondisi tanaman
 Table 4. Correlation matrix Pearson of the environmental factors and plant condition

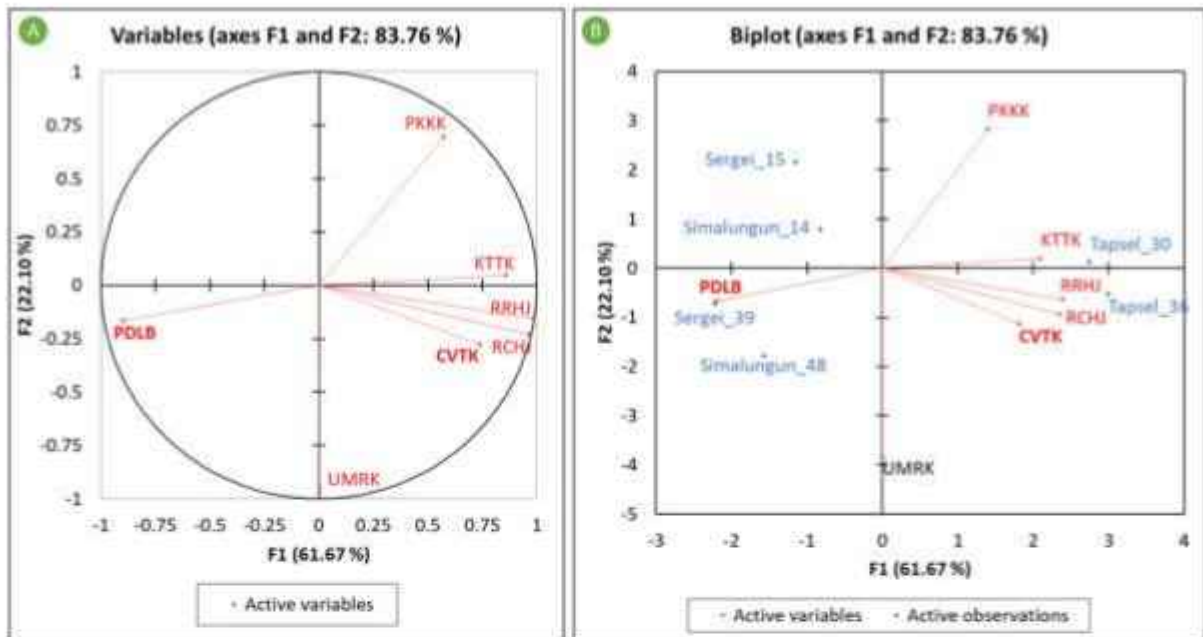
Variabel Variable	PDLB	CVTK	UMRK	PKKK	KTTK	RCHJ	RRHJ
PDLB	1						
CVTK	-0.568	1					
UMRK	0.246	0.155	1				
PKKK	-0.464	0.256	-0.529	1			
KTTK	-0.693	0.388	0.087	0.600	1		
RCHJ	-0.872	0.802	0.184	0.353	0.761	1	
RRHJ	-0.863	0.716	0.164	0.449	0.877	0.979	1

Angka dalam cetak tebal menunjukkan korelasi signifikan pada $\alpha = 0,05$.
 Values in bold shows significant correlation at $\alpha = 0,05$

di daerah beriklim basah, seperti di Sumatra Utara, curah hujan dan frekuensi hari hujan yang terlalu tinggi justru dapat menghambat pertumbuhan TBM, kemungkinan disebabkan gangguan penyakit gugur daun. Wilayah Tapsel dikenal memiliki curah hujan tinggi dan daerah endemik penyakit gugur daun sehingga areal ini sering digunakan untuk pengujian ketahanan klon terhadap penyakit gugur daun (Sayurandi et al., 2014). Curah hujan dan hari hujan yang tinggi juga berpotensi meningkatkan erosi dan menurunkan kesuburan tanah (Zhu et al., 2022). Aliran permukaan pada saat hujan membawa hara dari pupuk sehingga menurunkan efektivitas pemupukan. Meskipun pemupukan telah dilakukan dengan metode benam (*pocket*), namun curah hujan tinggi tetap berpotensi meningkatkan pencucian hara terutama pada areal berbukit. Terkait dengan upaya efisiensi biaya pemeliharaan TBM, parameter faktor lingkungan sulit atau tidak dapat dimodifikasi, sehingga upaya efisiensi kemungkinan hanya dapat dilakukan untuk parameter-parameter agronomis.

Hubungan antara Intensitas Pemeliharaan dan Pertumbuhan Tanaman

Parameter agronomis yang diamati dalam penelitian ini meliputi FMTK, FSCK, FPTK, FPPK, FPMB, FDPK, FDAK, FPOG, FPGM, FPAG, FPLL, DPAG, dan FPPGK. Data diperoleh dari realisasi pekerjaan selama tahun 2023 pada masing-masing kebun. Berdasarkan kemiripan karakteristik data yang dimiliki, 13 faktor agronomis tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga *cluster* (Gambar 5.). *Cluster I* terdiri dari parameter agronomis yang dilakukan dalam intensitas rendah meliputi FSCK, FPTK, FPGM, FMTK, dan FPOG. Pada *cluster II*, data FPAG memiliki kesamaan karakteristik dengan FDAK dan FPMB. Hal ini kemungkinan disebabkan pengendalian anak kayu dan pemeliharaan kacangan umumnya dilakukan secara periodik sebelum pemupukan. Ketiga faktor tersebut memiliki kemiripan dengan parameter agronomis lainnya yaitu FDPK, FPGK, FPPK, dan FPLL. *Cluster III* hanya terdiri dari satu faktor yaitu DPAG. Hal ini menunjukkan bahwa dosis pemupukan anorganik memiliki karakteristik data yang berbeda dibanding parameter agronomis lainnya.



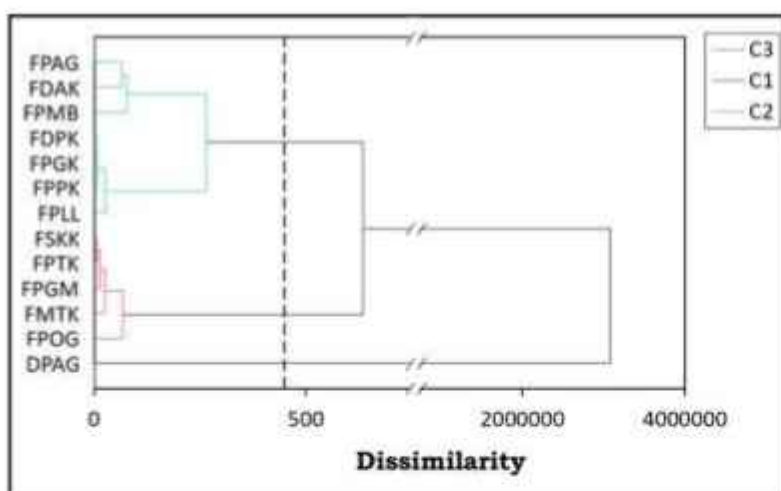
Gambar 4. *Principal Component Analysis (PCA)(A) dan biplot PCA (B) untuk faktor lingkungan dan kondisi tanaman. Data yang dianalisis adalah rata-rata per wilayah per umur tanaman*

Figure 4. *Principal Component Analysis (PCA)(A) and biplot PCA (B) for environmental factors and plant conditions. Data analyzed were the average per region per plant age*

Hasil analisis korelasi Pearson menunjukkan bahwa faktor yang berkorelasi signifikan terhadap PDLB adalah FPGK, FPPK, dan FDPK, dengan koefisien masing-masing 0,954, 0,860, dan 0,864 yang mengindikasikan bahwa lilit batang berkorelasi positif dengan pengendalian gulma dan penyakit (Tabel 5.). Tiga parameter berkorelasi signifikan terhadap CVTK, dua di antaranya berkorelasi negatif yaitu FPLL (-0,832) dan FDPK (-0,813), sedangkan satu faktor berkorelasi positif yaitu FPOG (0,926). Dalam penelitian ini, DPAG dan FPAG tidak berkorelasi signifikan terhadap PDLB dan CVTK. Padahal,

pemupukan merupakan salah satu komponen biaya paling besar dalam pemeliharaan TBM.

Hasil PCA menunjukkan bahwa 47,43% varian data berada pada sumbu F1, sedangkan F2 sebesar 30,07% (Gambar 6A.). Pada sumbu F1, PDLB (*factor loading* 0,812) berkorelasi negatif terhadap CVTK (*factor loading* -0,794). Parameter yang berkorelasi positif terhadap PDLB meliputi FPLL, FPGK, FPAG, FPPK, dan FDPK masing-masing dengan *factor loading* 0,966, 0,931, 0,847, 0,989, dan 0,985. Satu faktor berkorelasi negatif yaitu FPOG (-0,854). Faktor-faktor



Gambar 5. Dendrogram hasil *Agglomerative Hierarchical Clustering* (AHC) terhadap faktor-faktor agronomis. Data yang dianalisis adalah rata-rata per wilayah per umur tanaman

Figure 5. Dendrogram of the *Agglomerative Hierarchical Clustering* (AHC) result on the agronomical factors. Data analyzed were the average per region per plant age

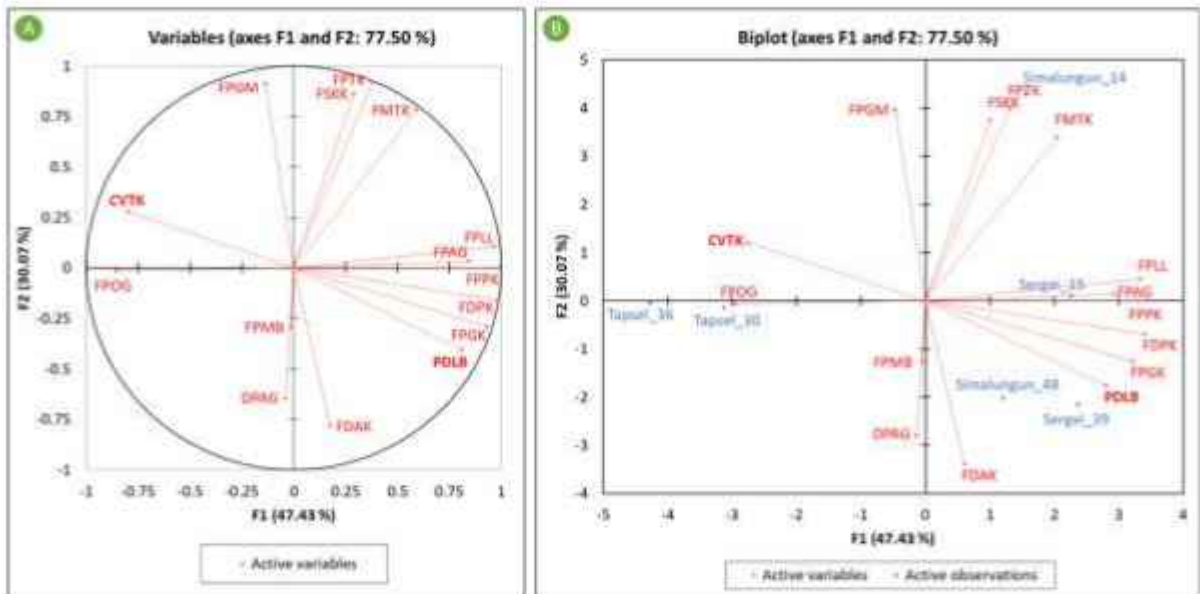
agronomis lainnya tidak berpengaruh signifikan terhadap PDLB, yaitu FMTK (0,593), FPTK (0,381), FPMB (-0,014), FPAK (0,175), FPGM (-0,136), FSKK (0,291), dan DPAG (-0,039), angka dalam kurung menunjukkan nilai *factor loading*. Data FPLL, FPAG, dan FPPK terutama dipengaruhi oleh tanaman di wilayah Sergei berumur 15 bulan, sedangkan PDLB terutama dipengaruhi oleh data tanaman berumur 39 bulan di wilayah yang sama (Gambar 6B.). Parameter FSKK, FPTK, dan FMTK, terutama dipengaruhi tanaman di wilayah Simalungun berumur 14 bulan, sedangkan FPOG dipengaruhi data dari tanaman di wilayah Tapsel.

Berdasarkan hasil analisis ini, upaya efisiensi biaya pemeliharaan TBM karet dapat dilakukan dengan menurunkan intensitas pemeliharaan untuk parameter yang berkorelasi negatif dan tidak berkorelasi signifikan terhadap PDLB. Faktor-faktor yang berkorelasi positif dipertahankan karena berpotensi menurunkan PDLB jika intensitasnya dikurangi. Untuk CVTK, yang berkorelasi negatif terhadap PDLB, diharapkan nilainya menurun seiring pertambahan umur tanaman.

Upaya Efisiensi Biaya Pemeliharaan TBM

Upaya efisiensi biaya pemeliharaan TBM diharapkan tidak berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan tanaman, dalam hal ini PDLB dan CVTK. Berdasarkan hasil analisis, efisiensi biaya dapat dilakukan dengan menurunkan intensitas kegiatan pemeliharaan yang berkorelasi negatif dan tidak berkorelasi signifikan terhadap PDLB. Pada penelitian ini, terdapat delapan kegiatan yang dapat dikurangi intensitasnya meliputi penyulaman (FPTK), pemupukan (FPOG dan DPAG), pemeliharaan kacang dan pengendalian gulma (FPMB, FPAK dan FPGM), manajemen tajuk (FMTK), dan sensus tanaman (FSKK).

Di kebun-kebun yang diamati, penyulaman tanaman karet dilakukan intensif sampai 10 kali per tahun. Dengan asumsi penyulaman yang telah dilakukan cukup efektif, maka tahun berikutnya penyulaman dapat dikurangi menjadi dua kali per tahun. Untuk wilayah Sumatra Utara, waktu paling tepat untuk penyulaman adalah awal musim hujan kecil yaitu bulan Mei dan puncak musim hujan yaitu bulan Nopember. FSKK juga dapat disesuaikan dari 9 kali per tahun menjadi



Gambar 6. *Principal Component Analysis (PCA)(A) dan biplot PCA (B) untuk faktor lingkungan dan kondisi tanaman. Data yang dianalisis adalah rata-rata per wilayah per umur tanaman*

Figure 6. *Principal Component Analysis (PCA)(A) and biplot PCA (B) for environmental factors and plant conditions. Data analyzed were the average per region per plant age*

Tabel 5. Matrik korelasi Pearson kondisi tanaman dan intensitas pemeliharaan pada tahun 2023
 Table 5. Correlation matrix Pearson of plant condition and upkeeping intensity in 2023

Variabel Variables	PDLB	CVTK	FMTK	FPTK	FPMB	FDAK	FPGM	FPLL	FPGK	FPOG	FPAG	FSKK	FPPK	FDPK	DPAG
PDLB	1														
CVTK	-0.568	1													
FMTK	0.212	-0.251	1												
FPTK	-0.044	-0.010	0.941	1											
FPMB	-0.004	-0.449	-0.142	-0.317	1										
FDAK	0.390	-0.367	-0.574	-0.625	0.268	1									
FPGM	-0.553	0.327	0.578	0.803	-0.250	-0.510	1								
FPLL	0.644	-0.832	0.621	0.456	-0.004	0.146	0.019	1							
FPGK	0.954	-0.717	0.342	0.094	-0.056	0.315	-0.447	0.823	1						
FPOG	-0.577	0.926	-0.560	-0.301	-0.423	-0.064	0.139	-0.870	-0.722	1					
FPAG	0.697	-0.483	0.448	0.383	-0.471	0.249	0.000	0.829	0.812	-0.473	1				
FSKK	-0.075	0.130	0.805	0.938	-0.417	-0.421	0.866	0.368	0.022	-0.103	0.435	1			
FPPK	0.860	-0.707	0.596	0.387	-0.097	0.156	-0.151	0.925	0.950	-0.786	0.872	0.314	1		
FDPK	0.864	-0.813	0.455	0.227	-0.021	0.273	-0.291	0.934	0.971	-0.823	0.847	0.142	0.976	1	
DPAG	0.320	0.164	-0.621	-0.556	-0.438	0.687	-0.466	-0.126	0.215	0.427	0.342	-0.312	0.026	0.085	1

Angka dalam cetak tebal menunjukkan korelasi signifikan pada $\alpha = 0.05$
 Values in bold shows significant correlation at $\alpha = 0.05$

dua kali per tahun pada bulan April dan Oktober.

Komponen biaya pemeliharaan TBM yang cukup besar adalah biaya pemupukan. Dalam penelitian ini, dua parameter terkait pemupukan yaitu FPOG dan DPAG masing-masing menunjukkan korelasi negatif dan tidak berkorelasi signifikan terhadap PDLB. Pemberian bahan organik sebelumnya telah diteliti oleh oleh – Stevanus dan Saputra (2020) yang menunjukkan tidak berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan karet di pembibitan. Oleh sebab itu, FPOG dapat dikurangi untuk menekan biaya pemeliharaan. DPAG tidak berpengaruh signifikan terhadap PDLB di kebun-kebun yang diamati. Pengurangan dosis pupuk dikhawatirkan dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dalam jangka panjang. Oleh sebab itu, pemupukan disarankan tetap dilakukan dengan dosis anjuran namun frekuensi pemupukan dapat dikurangi untuk menghemat biaya. Kegiatan pemupukan dapat difokuskan untuk meningkatkan efektivitas serapan hara di antaranya dengan modifikasi metode tabur menjadi metode benam (*pocket*) dan upaya lainnya melalui penggunaan pupuk anorganik *slow release* (Saputra et al., 2017).

Areal TBM di kebun-kebun yang diamati menggunakan kacang penutup tanah *Mucuna bracteata*. Spesies ini tumbuh sangat cepat terutama di wilayah tropis basah seperti di Indonesia (Harist et al., 2017). Frekuensi Pemeliharaan *M. bracteata* (FPMB) dilakukan intensif sampai 12 kali per tahun. Untuk TBM 1, pemeliharaan intensif diperlukan untuk menghindari *Mucuna* melilit tanaman karet. Pemeliharaan *Mucuna* umumnya dilakukan bersamaan dengan pengendalian gulma manual (FPGM) dan dongkel anak kayu (FDAK). Untuk menghemat biaya, kegiatan-kegiatan tersebut hanya perlu dilakukan di areal TBM 1, sedangkan untuk TBM 2 dan seterusnya pemeliharaan dapat dilakukan secara khemis agar lebih efisien.

Kegiatan kultur teknis lainnya yang dapat diefisienkan adalah Frekuensi Manajemen Tajuk (FMTK). Pada TBM karet, kegiatan manajemen tajuk terutama dilakukan berupa: 1). Menghilangkan percabangan yang muncul pada ketinggian <

2 m untuk menyediakan panel sadap bebas cabang. Kegiatan ini dilakukan sampai TBM 2; 2). Induksi percabangan pada tanaman yang belum membentuk cabang pada TBM 2. Kegiatan ini dilakukan dengan metode pemangkasan daun (*clipping*) atau penyanggulan (*folding*) (Ali dan Nasution, 2021); dan 3). Pemenggalan tajuk (*topping*) untuk mengurangi resiko serangan angin. Kegiatan ini umumnya dilakukan pada TBM 3 dan TBM 5. Pada penelitian ini, FMTK hanya berupa penunasan dan induksi cabang yang dilakukan intensif sampai 10 kali per tahun. Dengan pertimbangan efisiensi biaya, kegiatan ini dapat dikurangi menjadi 4 – 6 kali per tahun. Untuk *topping*, kegiatan ini hanya diperlukan di daerah lintasan angin, sedangkan untuk areal yang bukan lintasan angin maka tidak perlu dilakukan (Junaidi et al., 2021).

Artikel ini menyajikan contoh identifikasi parameter-parameter kultur teknis yang dapat dikurangi intensitasnya dalam rangka efisiensi biaya pemeliharaan TBM. Besarnya biaya yang dapat dihemat bergantung pada standar biaya masing-masing kebun. Pendekatan yang sama dapat diterapkan di perkebunan negara, swasta, maupun petani. Hasil yang diperoleh dapat berbeda antara satu kebun dengan kebun lainnya tergantung intensitas pemeliharaan yang telah dilakukan dan kondisi tanaman di lapangan. Hasil kajian ini dapat menjadi pertimbangan bagi pengambil kebijakan dalam meningkatkan daya saing perkebunan karet di tengah kondisi harga yang belum membaik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kondisi lingkungan, pertumbuhan tanaman, dan intensitas pemeliharaan TBM di kebun-kebun yang diamati menunjukkan kondisi yang bervariasi dengan tingkat kemurnian klon yang rendah. Pertumbuhan lilit batang TBM di wilayah Tapsel dan Simalungun cenderung rendah bila dibandingkan dengan lilit batang standar, sedangkan di wilayah Sergei relatif normal. Kultur teknis pemeliharaan TBM selama ini dilakukan secara intensif. Dari tiga kebun yang diamati dapat disimpulkan bahwa efisiensi biaya dapat dilakukan dengan menurunkan intensitas pemeliharaan meliputi frekuensi penyulaman,

pemupukan organik, pemupukan anorganik, pemeliharaan *Mucuca*, dongkel anak kaum pengendalian gulma manual, manajemen tajuk, dan kegiatan sensus dan konsolidasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, D. S., & Herlinawati, E. (2017). Komparasi kelayakan investasi klon karet GT 1 dan PB 260 pada berbagai tingkat harga dan umur ekonomis. *Jurnal Penelitian Karet*, 1(1), 83–92. <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v1i1.362>
- Ah-Pine, J. (2018). An efficient and effective generic agglomerative hierarchical clustering approach. *Journal of Machine Learning Research*, 19, 1–43.
- Ali, E. S., & Nasution, A. S. (2021). Keragaan pertumbuhan tanaman karet akibat induksi cabang dengan metoda clipping dan topping. *Journal of Animal Science and Agronomy Panca Budi*, 06(1), 14–20.
- Astuti, M., Hafiza, Yuningsih, E., Wasingun, A. R., Nasution, I. M., & Mustikawati, D. (2014). *Pedoman Budidaya Karet (Hevea brasiliensis) yang Baik*. Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian.
- Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian. (2008). *Teknologi Budidaya Karet*. Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian.
- Balai Penelitian Sembawa. (2009). *Saptabina Usahatani Karet Rakyat* (M. Lasminingsih, D. Suwardin, Thomas, & F. Oktavia (eds.)). Balai Penelitian Sembawa, Pusat Penelitian Karet.
- Boerhendhy, I., & Amypalupy, K. (2011). Optimalisasi produktivitas karet melalui penggunaan bahan tanam, pemeliharaan, sistem eksploitasi, dan peremajaan tanaman. *Jurnal Litbang Pertanian*, 30(1), 23–30. <https://doi.org/10.21082/jp3.v30n1.2011.p23-30>
- Cohen-addad, V., Kanade, V., Mallmann-trenn, F., & Mathieu, C. (2019). Hierarchical clustering: objective functions and algorithms. *Journal of the ACM*, 66(4), 26:1–26:41. <https://doi.org/10.1145/3321386>
- Daslin, A. (2011). Evaluasi pengujian lanjutan klon karet IRR seri 200 pada masa tanaman belum menghasilkan. *Jurnal Penelitian Karet*, 29(2), 93–101.
- Direktora Jenderal Perkebunan. (2022). *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2021-2023*. Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Greenacre, M., Groenen, P. J. F., Hastie, T., Iodice D'enza, A., Markos, A., Tuzhilina, E., & Iodice D'enza, A. (2023). *Principal Component Analysis* (Issue 1856).
- Gunasekera, H. K. L. K., Nugawela, E. A., de Costa, W. A. J. M., & Attanayake, D. P. S. T. G. (2007). Possibility of early commencement of tapping in rubber (*Hevea brasiliensis*) using different genotypes and tapping systems. *Experimental Agriculture*, 43(2), 201–221. <https://doi.org/10.1017/S0014479706004595>
- Harist, A., Wawan, & Wardati. (2017). Sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) pada beberapa kondisi penutupan lahan dengan *Mucuna bracteata*. *Jurnal Online Fakultas Pertanian Universitas Riau*, 4(2), 1–14.
- Huang, J., Pan, J., Zhou, L., Zheng, D., Yuan, S., Chen, J., Li, J., Gui, Q., & Lin, W. (2020). An improved double-row rubber (*Hevea brasiliensis*) plantation system increases land use efficiency by allowing intercropping with yam bean, common bean, soybean, peanut, and coffee: A 17-year case study on Hainan Island, China. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121493. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121493>

- Junaidi, Wibowo, S. A., & Wijaya, A. (2021). Wind damage and yield recovery in rubber (*Hevea brasiliensis*) plantation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 759(1), 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/759/1/012046>
- Qi, D., Wu, Z., Yang, C., Xie, G., Li, Z., Yang, X., & Li, D. (2021). Can intercropping with native trees enhance structural stability in young rubber (*Hevea brasiliensis*) agroforestry system? *European Journal of Agronomy*, 130, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126353>
- Rinojati, N. D., & Rouf, A. (2020). Analisis finansial penggunaan teknologi stimulan gas etilen pada kondisi harga karet yang dinamis. *Warta Per karetan*, 39(1), 73–84.
- Rinojati, N. D., Rouf, A., Aji, Y. B. S., Nugrahani, M. O., & Widyasari, T. (2018). Peningkatan produksi dan analisis finansial pada buka sadap lilit batang > 45 cm untuk menghadapi harga karet rendah. *Jurnal Penelitian Karet*, 35(2), 1–10. <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v35i2.321>
- Rouf, A., Setiono, & Pamungkas, A. S. (2013). Ungensi sensus lilit batang sejak TBM I sebagai strategi meningkatkan keragaan dan keseragaman tanaman karet. *Warta Per karetan*, 32(2), 95–104. <http://ejournal.puslitkaret.co.id/index.php/wartaperkaretan/article/view/41/35>
- Saputra, J. (2018). Strategi pemupukan tanaman karet dalam menghadapi harga karet yang rendah. *Warta Per karetan*, 37(2), 75–86. <https://doi.org/10.22302/ppk.wp.v37i2.584>
- Saputra, J., Ardika, R., & Wijaya, T. (2017). Respon pertumbuhan tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) belum menghasilkan terhadap pemberian pupuk majemuk tablet. *Jurnal Penelitian Karet*, 35(1), 49–58. <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v1i1.304>
- Saputra, J., & Stevanus, C. T. (2019). Aplikasi kompos tandan kosong kelapa sawit pada tanaman karet belum menghasilkan. *Warta Per karetan*, 38(1), 1–10. <https://doi.org/10.22302/ppk.wp.v1i1.587>
- Sayurandi, Suhendry, I., & Pasaribu, S. A. (2014). Pengujian adaptasi beberapa klon karet pada masa tanaman belum menghasilkan. *Jurnal Penelitian Karet*, 32(1), 1–9.
- Smith, L. I. (2002). A tutorial on Principal Components Analysis. In *Technical Report OUCS-2002-12*.
- Stevanus, C. T., & Saputra, J. (2020). Peningkatan pertumbuhan bibit karet (*Hevea brasiliensis*, Mull.Arg) melalui aplikasi kompos tandan kosong kelapa sawit pada media tanam. *Jurnal Agroqua*, 18(1), 1–7. <https://doi.org/10.32663/ja.v18i1.664>
- Sumarmadji, Rouf, A., Aji, B. S., & Titik Widyasari. (2017). Optimalisasi produksi dan penekanan biaya penyadapan dengan sistem sadap intensitas rendah. *Warta Per karetan*, 36(1), 55–74.
- Zhu, X., Liu, W., Yuan, X., Chen, C., Zhu, K., Zhang, W., & Yang, B. (2022). Aggregate stability and size distribution regulate rainsplash erosion: evidence from a humid tropical soil under different land-use regimes. *Geoderma*, 420, 115880. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115880>