

ANALISIS EKONOMI MODEL PERGILIRAN PERKEBUNAN KELAPA SAWIT KE PERKEBUNAN KARET DENGAN MENERAPKAN BEBERAPA SIMULASI PERIODE PENYADAPAN KARET DIPERSINGKAT

Economic Analysis of the Rotation Model from Oil Palm Plantations to Rubber Plantations by Implementing Several Simulations of Shortened Rubber Tapping Periods

**Radite Tistama¹, Iman Satra Nugraha¹, Suroso Rahutomo¹,
Cici Indriyani Dalimunthe² dan Sahuri¹**

¹Pusat Penelitian Karet. Jl. Palembang – Pangkalan Balai Km. 29
Sembawa Banyuasin Sumatera Selatan

²PT. Riset Perkebunan Nusantara, Jl. Salak No. 1A Bogor Jawa Barat
Email: raditetistama@gmail.com

Diterima 1 Oktober 2025 / Direvisi 18 Februari 2026 / Disetujui 1 April 2026

Abstrak

Penyakit busuk pangkal batang (BPB) yang disebabkan oleh jamur *Ganoderma boninense* merupakan ancaman serius bagi keberlanjutan perkebunan kelapa sawit Indonesia. Sebagai strategi preventif, pergiliran tanaman (*crop rotation*) dengan karet berpotensi memutus siklus penyakit. Namun, implementasinya terkendala oleh siklus investasi karet yang panjang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan ekonomi model pergiliran sawit-karet dengan menerapkan periode penyadapan karet yang dipersingkat. Analisis dilakukan melalui simulasi delapan skenario yang memvariasikan frekuensi sadap (d3 dan d4), model tataguna panel (sadap atas dan konvensional), serta populasi tanaman (550 dan 600 pohon/ha), dengan siklus produksi 12 tahun. Kelayakan finansial dievaluasi menggunakan parameter *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Gross Benefit/Cost (B/C) Ratio*, dan *Payback Period (PBP)*. Hasil menunjukkan bahwa semua skenario layak secara finansial. Kombinasi frekuensi sadap d3 dengan sistem sadap arah atas (Simulasi 5-8) menghasilkan performa terbaik, dengan produktivitas karet 23.581–25.003 kg/ha/siklus, pendapatan tahunan Rp63–67 juta/ha, serta parameter finansial unggul (NPV Rp23,8–38,2 miliar; IRR 14,6–17,8%; B/C Ratio 1,79–1,93; PBP

10,1–11,6 tahun). Model tataguna panel dan frekuensi sadap berpengaruh signifikan terhadap hasil, sementara variasi populasi tanaman tidak. Disimpulkan bahwa model pergiliran dengan periode penyadapan singkat yang mengoptimalkan frekuensi d3 dan teknik sadap arah atas tidak hanya layak dan menarik secara investasi, tetapi juga berpotensi sebagai strategi *break crop* yang efektif untuk mengendalikan *Ganoderma*.

Kata kunci: pergiliran kelapa sawit – karet, *ganoderma boninense*, kelayakan finansial, periode penyadapan.

Abstract

Basal stem rot (BSR) caused by Ganoderma boninense is a serious threat to the sustainability of Indonesian oil palm plantations. As a preventive strategy, crop rotation with rubber has the potential to break the disease cycle. However, its implementation is hindered by the long investment cycle of rubber. This study aims to analyze the economic feasibility of an oil palm-rubber rotation model by applying a shortened rubber tapping period. The analysis was conducted by simulating eight scenarios that varied tapping frequency (d3 and d4), panel management models (upward and conventional tapping), and plant population (550 and 600 trees/ha), with a 12-year production cycle. Financial feasibility was evaluated using Net

Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Gross Benefit/Cost (B/C) Ratio, and Payback Period (PBP) parameters. The results show that all scenarios are financially viable. The combination of d3 tapping frequency with an upward tapping system (Simulations 5-8) yielded the best performance, with rubber productivity of 23,581–25,003 kg/ha/cycle, annual income of IDR 63–67 million/ha, and superior financial parameters (NPV IDR 23.8–38.2 billion; IRR 14.6–17.8%; B/C Ratio 1.79–1.93; PBP 10.1–11.6 years). Panel management models and tapping frequency significantly influenced the outcomes, while variations in plant population did not. It is concluded that the rotation model with a shortened tapping period that optimizes d3 frequency and upward tapping technique is not only feasible and attractive as an investment but also has the potential as an effective break crop strategy to control Ganoderma.

Keywords: Hevea brasiliensis, rubber plant, leaf morphology, characteristic

Pendahuluan

Kelapa sawit merupakan komoditas perkebunan strategis Indonesia, namun produktivitasnya secara nasional menghadapi ancaman serius dari penyakit busuk pangkal batang (BPB) yang disebabkan oleh jamur patogen *Ganoderma boninense*. Penyakit ini telah diakui sebagai yang paling merugikan, dengan laju infeksi mencapai 1,7-1,8% per bulan yang dapat mempersingkat umur produktif tanaman hingga 50% dan mengakibatkan kerugian ekonomi yang masif pada skala korporasi maupun rakyat (Susanto *et al.*, 2013a; Sipayung, 2024). Patogen ini menunjukkan dinamika yang kompleks, di mana serangan lebih tinggi terjadi pada tanah mineral (2,6%) dibandingkan lahan gambut (1,5%), dan intensitasnya cenderung meningkat pada generasi tanam berikutnya (Susanto *et al.*, 2013b; Rahmana *et al.*, 2024).

Mengingat belum tersedianya metode pengendalian kuratif yang efektif, strategi pengelolaan terpadu yang bersifat preventif menjadi sangat krusial. Meskipun penggunaan

varietas toleran dan aplikasi agen hayati seperti *Trichoderma* sp. telah dikembangkan (Susanto & Prasetyo, 2013), tantangan pengendalian tetap ada. Dalam konteks ini, strategi pergiliran tanaman (*crop rotation*) muncul sebagai pendekatan yang secara agronomis sangat potensial untuk memutus siklus hidup patogen. Prinsip ini bekerja dengan mengubah kondisi rizosfer, termasuk komposisi eksudat akar, komunitas mikroba, dan keseimbangan hara tanah, sehingga menciptakan lingkungan yang tidak kondusif bagi dominasi *Ganoderma* (Thirdyawati *et al.*, 2013; Selim, 2019; Zou *et al.*, 2024). Observasi awal di lapangan memperkuat potensi ini, di mana konversi lahan dari kebun karet ke kebun sawit generasi pertama menunjukkan insidensi penyakit yang sangat rendah, mengindikasikan peran karet sebagai *break crop*.

Namun, implementasi pergiliran sawit-karet pada skala komersial menghadapi tantangan ekonomi yang fundamental. Pergiliran antara dua komoditas bernilai tinggi dengan siklus investasi panjang masih sangat jarang dilakukan, terutama disebabkan oleh perbedaan siklus usaha, kelangkaan data jangka panjang, dan risiko pasar (Syarifa & Tistama, 2020). Siklus konvensional karet yang melibatkan masa Tanaman Belum Menghasilkan (TBM) 5-6 tahun dan periode sadap optimal 18-23 tahun menciptakan *time lag* investasi yang signifikan, sehingga menjadi kendala utama kelayakan ekonomi (Pusat Penelitian Karet, 2024). Di sisi lain, prospek pasar karet alam yang optimis, dengan harga diproyeksikan meningkat dari USD 1,7-2,0/kg (2024) menuju USD 3/kg pada 2030, membuka peluang ekonomi yang menarik (Smith, 2014).

Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknis dan model ekonomi yang dapat menjembatani *trade-off* antara manfaat agronomis jangka panjang (pengurangan inokulum *Ganoderma*) dengan realitas ekonomi jangka menengah. Salah satu strategi inovatif adalah dengan mempersingkat periode pengusahaan karet melalui optimisasi sistem penyadapan. Pendekatan ini berpotensi mempercepat

pengembalian modal (*payback period*) dan meningkatkan daya tarik finansial model pergiliran, tanpa mengorbankan fungsi karet sebagai *break crop*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan ekonomi model pergiliran perkebunan kelapa sawit ke perkebunan karet dengan menerapkan periode penyadapan karet yang dipersingkat. Secara spesifik, analisis akan difokuskan pada: (1) menyusun dan menyimulasikan model pengusahaan karet periode singkat melalui optimasi frekuensi penyadapan dan modifikasi tataguna panel, (2) mengevaluasi pengaruh variabel teknis seperti populasi tanaman terhadap produktivitas dan pendapatan, serta (3) melakukan analisis finansial komparatif (meliputi NPV, IRR, B/C Ratio, dan PBP) dari berbagai skenario untuk menghasilkan rekomendasi model usaha yang *feasible* secara ekonomi.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan simulasi berbasis model sistem penyadapan tanaman karet. Kegiatan pemodelan dan analisis data dilaksanakan pada tahun 2025 di Pusat Penelitian Karet, Sembawa, Banyuasin Sumatera Selatan, tanpa melibatkan percobaan lapangan secara langsung.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder dan parameter teknis yang bersumber dari literatur ilmiah dan standar budidaya karet, antara lain data potensi produksi klon karet RRIC 100, standar kultur teknis, parameter pertumbuhan tanaman, umur tanaman (TBM dan TM), sistem penyadapan, serta data respons tanaman terhadap stimulan etefon. Sedangkan alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat komputer/laptop, perangkat lunak pengolah data dan simulasi (Microsoft Excel) dan referensi ilmiah sebagai dasar penyusunan model simulasi.

Simulasi Model

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi sistem sadap dengan skenario periode masa tanaman menghasilkan (TM) yang dipersingkat menjadi 12 tahun. Dengan asumsi masa tanaman belum menghasilkan (TBM) selama 6 tahun dan masa sadap selama 12 tahun, maka sistem pengusahaan karet dalam pola pergiliran tanaman dengan kelapa sawit berlangsung selama 18 tahun. Klon yang digunakan dalam pemodelan adalah RRIC 100 dengan pertimbangan klon ini memiliki potensi produksi tinggi yaitu 2000 kg/ha/tahun (Siagian, 2006; Lasminingsih, 2015), responsif terhadap stimulan (Andriyani, 2024), lebih adaptif diberbagai kondisi lahan dan toleran cekaman lingkungan termasuk bulan kering yang panjang (Sahuri, 2018), dan lebih tahan terhadap berbagai penyakit gugur daun (Kusdiana, 2021).

Simulasi dilakukan dengan menggunakan dua asumsi populasi awal tanaman karet, yaitu 550 pohon/ha dengan jarak tanam 6 x 3 m, dan 600 pohon/ha dengan jarak tanam 5 x 3,2 m. Penerapan kultur teknis diasumsikan mengacu pada standar Sapta Bina Usaha Karet Rakyat (2014). Tanaman mulai dibuka sadap pada umur 6 tahun (TBM 6) dengan asumsi seluruh populasi telah memenuhi kriteria lilit batang minimum 45 cm, sedangkan masa tanaman menghasilkan tahun pertama (TM1) dimulai pada umur 7 tahun. Dalam model ini juga diasumsikan terjadi penurunan populasi tanaman akibat serangan penyakit jamur akar putih, dengan tingkat penurunan lebih tinggi pada populasi awal 600 pohon/ha dibandingkan 550 pohon/ha karena intensitas kontak akar yang lebih besar. Laju pengurangan populasi pada skenario 550 pohon/ha diasumsikan sebesar 5 pohon/ha/tahun pada TM 4-6 dan 10 pohon/ha/tahun pada TM 7-12, sehingga populasi akhir menjadi 480 pohon/ha. Sementara itu, pada populasi awal 600 pohon/ha, pengurangan terjadi sebesar 10 pohon/ha/tahun pada TM 4-7 dan 20 pohon/ha/tahun pada TM 8-12, sehingga populasi akhir menjadi 450 pohon/ha.

Simulasi penjadapan mempertimbangkan tiga faktor utama, yaitu populasi tanaman (550 dan 600 pohon/ha), frekuensi penjadapan (d4 dan d3), serta model tata guna panel (Model 1 dan Model 2), sehingga diperoleh delapan kombinasi simulasi. Seluruh simulasi menggunakan sistem sadap $\frac{1}{2}$ spiral (S2).

Aplikasi stimulan dilakukan tanpa pengerokan kulit dengan menggunakan etefon konsentrasi 2,5% melalui metode *grove application* untuk sadap ke arah bawah dan *panel application* untuk sadap arah atas, dengan frekuensi dua kali per bulan selama sembilan bulan pada kondisi daun normal (total 18 kali aplikasi per

Tabel 1. Matrik simulasi penjadapan yang dipersingkat dalam pola pergiliran/rotasi perkebunan kelapa sawit – karet

No. Simulasi	Populasi (Pohon/ha)	Frekuensi Sadap	Model Tataguna Panel	Jumlah Hari Sadap/tahun	Keterangan
Simulasi 1	550	d4	Model 1	90	Baseline
Simulasi 2	550	d4	Model 2	90	Perubahan Model Panel
Simulasi 3	600	d4	Model 1	90	Perubahan populasi
Simulasi 4	600	d4	Model 2	90	Perubahan populasi & model panel
Simulasi 5	550	d3	Model 1	112	Perubahan frekuensi
Simulasi 6	550	d3	Model 2	112	Perubahan frekuensi & model panel
Simulasi 7	600	d3	Model 1	112	Perubahan frekuensi & populasi
Simulasi 8	600	d3	Model 2	112	Perubahan semua faktor utama

Catatan:

Ringkasan Parameter Tetap (Seluruh Simulasi)

- Sistem Sadap: $\frac{1}{2}$ Spiral (S2).
- Durasi Simulasi: 12 Tahun (TM1 - TM12).
- Stimulan: Etefon 2,5% (18 kali/tahun, aplikasi setiap 2 minggu selama 9 bulan).
- Dua Tahun Terakhir (TM11-TM12): Seluruh simulasi diakhiri dengan *Free Tapping* (FT).
- Konsentrasi Etefon: 2,5% tanpa pengerokan kulit.

Perbedaan Model Tata Guna Panel

- Model 1: Penjadapan dimulai (buka sadap) pada ketinggian 100 cm dari pertautan okulasi/kaki gajah. B0-1 : sadap arah bawah, B0-2 masing-masing 3 tahun; sadap arah atas, H0-1, H0-2 masing-masing 2 tahun; sadap bebas 2 tahun.
- Model 2: Penjadapan dimulai (buka sadap) pada ketinggian 30 cm dari kaki gajah (atau hingga mencapai 100 cm pada periode awal). Sadap arah atas, B0-1 dan B0-2 masing-masing 3 tahun; sadap arah atas H0-1 dan H0-2 masing-masing 2 tahun dan sadap bebas 2 tahun.

Keterangan Kode Frekuensi

- d4: Penjadapan dilakukan 4 hari sekali (akumulasi ± 90 hari sadap/tahun).
- d3: Penjadapan dilakukan 3 hari sekali (akumulasi ± 112 hari sadap/tahun).

tahun). Frekuensi sadap d4 setara dengan ± 90 hari sadap per tahun, sedangkan d3 setara dengan ± 112 hari sadap per tahun.

Model tata guna panel diterapkan selama periode TM1-TM12. Pada model 1, penyadapan dimulai pada panel B0-1 selama 3 tahun (TM1-TM3), dilanjutkan pada panel B0-2 selama tiga tahun (TM4-TM6), kemudian beralih ke panel atas H0-1 pada TM7 hingga TM8, dilanjutkan ke panel H0-2 pada TM9 hingga TM10, dan diakhiri dengan *free tapping* pada TM11-TM12. Pada model 2, penyadapan dimulai dari ketinggian 30 cm dari kaki gajah hingga mencapai 100 cm pada periode TM1-TM3, kemudian dilanjutkan pada panel B0-2 (TM4-TM6), panel H0-1 (TM7-TM8), panel H0-2 (TM9 dan TM10), dan diakhiri dengan *free tapping* pada TM11-TM12). Matriks kombinasi simulasi disajikan pada Tabel 1.

Analisis kelayakan Ekonomi

Perhitungan kelayakan ekonomi dilakukan untuk setiap skenario simulasi dengan menggunakan indikator *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Gross Benefit-Cost Ratio* (Gross BCR). Perhitungan didasarkan pada asumsi harga karet 95% dari harga FOB (*free on board*) yaitu USD 2,1/kg, dengan nilai tukar Rp16.000,00/USD dan diskonto sebesar 10%. Pendapatan tambahan dari penjualan kayu karet diperhitungkan pada akhir siklus (tahun ke-18), dengan asumsi hanya pohon dengan lilit batang >50 cm yang dipanen, sebesar 95%, 90%, dan 85% dari populasi akhir, serta harga kayu rata-rata Rp39.000,00 per batang.

Perhitungan NPV digunakan untuk mengestimasi nilai kini bersih dari arus kas proyek, IRR untuk menentukan tingkat pengembalian internal yang menyetarakan NPV menjadi nol, dan Gross BCR untuk membandingkan total manfaat terhadap total biaya yang telah didiskontokan. Kriteria kelayakan yang digunakan adalah $NPV > 0$, IRR lebih besar dari tingkat diskonto, dan $Gross BCR > 1$.

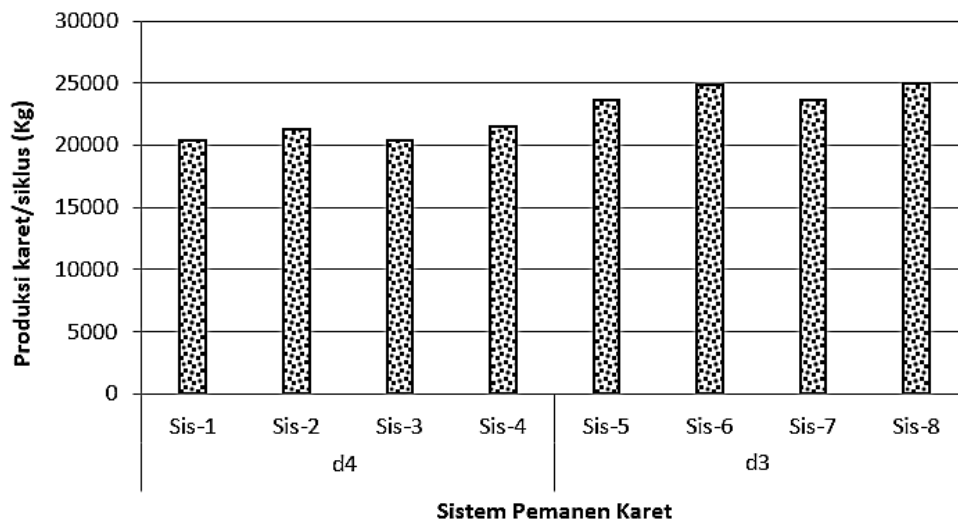
Hasil dan Pembahasan

Produktivitas Tanaman Karet

Berdasarkan simulasi penyadapan, produktivitas karet dalam satu siklus ekonomis dengan frekuensi sadap d4 berada pada kisaran 20.390,4 – 21.456,9 kg/ha/siklus. Sementara itu, frekuensi sadap d3 menghasilkan produktivitas yang lebih tinggi, yaitu 23.581,04 – 25.002,88 kg/ha/siklus. Dari sisi penerapan model tataguna panel, produktivitas dengan tataguna panel model 1 berkisar antara 20.390,4 – 23.629 kg/ha/siklus. Sebaliknya, tataguna panel model 2 menghasilkan produktivitas yang lebih tinggi, yaitu 21.312,9 – 25.002,88 kg/ha/siklus. Pada tingkat populasi 550 pohon/ha, produktivitasnya berkisar antara 20.390,4 – 24.856,72 kg/ha/siklus, sedangkan populasi 600 pohon/ha menghasilkan 20.404,8 – 25.002,88 kg/ha/siklus (Gambar 1).

Produktivitas yang lebih tinggi dengan frekuensi d3 selama siklus ekonomi 15 tahun terutama disebabkan oleh jumlah hari sadap per tahun yang lebih banyak, yaitu 110 hari dibandingkan dengan hanya 90 hari pada d4. Selain itu, pola tataguna panel juga cukup berpengaruh terhadap produksi karet, baik per hektar per tahun maupun per siklus. Kombinasi frekuensi sadap dengan teknik penyadapan juga berperan penting. Penyadapan yang dimulai dengan arah ke atas dari ketinggian 30 cm menghasilkan produksi lebih tinggi dibandingkan model konvensional (yang dimulai dengan sadapan ke bawah sebelum berpindah ke atas). Di sisi lain, populasi tanaman per hektar atau jarak tanam tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap produksi karet per siklus ekonomis.

Produksi dalam gram per pohon per sadap (gps) antara frekuensi d4 dan d3 tidak berbeda nyata, baik pada klon RRIC 100 maupun PB 260 (Tistama *et al.*, 2021). Potensi produksi satu siklus dengan sistem penyadapan d3 pada klon RRIC 100 selama 12 tahun mencapai 26.610 kg/ha (Lasminingsih, 2015). Dari hasil simulasi, potensi produktivitas yang paling mendekati potensi riil ini adalah simulasi 6



Gambar 1. Produktivitas karet dalam satu siklus dengan berbagai simulasi penyadapan karet

(24.857 kg/ha/siklus) dan simulasi 8 (25.003 kg/ha/siklus).

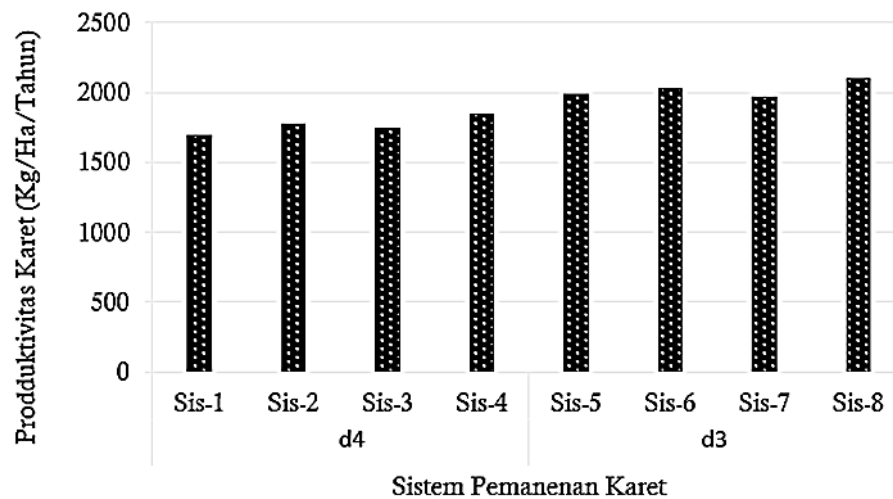
Sumarmadji *et al.* (2017) mengajukan model penyadapan *Quick Tapping* (Q-Tap) untuk siklus perkebunan karet selama 15 atau 20 tahun. Berdasarkan simulasi model ini, potensi produksi karet untuk masa penyadapan 15 tahun dapat mencapai 35.368 kg/ha. Model Q-Tap menggunakan teknik penyadapan ke arah atas sejak awal. Untuk periode 12 tahun, hasil produksi simulasi Q-Tap adalah sekitar 25.003 kg/ha/siklus, yang nilainya mendekati hasil dari simulasi 6 dan 8 yang juga menerapkan sadap arah atas. Perlu dicatat bahwa masa produktif dalam simulasi 6 dan 8 lebih pendek tiga tahun dibandingkan model Q-Tap. Asumsi potensi produksi dalam simulasi-simulasi ini telah memperhitungkan kondisi aktual di perkebunan karet, termasuk penurunan hasil akibat serangan penyakit gugur daun. Penurunan produksi karena penyakit gugur daun sekunder dilaporkan dapat mencapai 30% (IRRDB, 2024).

Berdasarkan Gambar 2, produktivitas tahunan dari simulasi sistem penyadapan menunjukkan bahwa frekuensi d4 menghasilkan kisaran 1.699,2 – 1.788,1 kg/ha/tahun. Sementara itu, frekuensi d3 menghasilkan produktivitas yang lebih tinggi, yaitu 1.965 – 2.083,6 kg/ha/tahun. Dari sisi

model tataguna panel, model pertama menghasilkan produktivitas 1.699,2 – 1.969 kg/ha/tahun, sedangkan model kedua memiliki rentang yang lebih tinggi, yaitu 1.776,1 – 2.083,6 kg/ha/tahun. Pada tingkat populasi, simulasi dengan 550 pohon/ha menghasilkan 1.699,2 – 2.071,3 kg/ha/tahun, dan dengan 600 pohon/ha menghasilkan 1.700,4 – 2.083,6 kg/ha/tahun.

Simulasi frekuensi sadap dan model tataguna panel menunjukkan perbedaan produksi karet yang signifikan, sedangkan simulasi terkait populasi tanaman tidak menunjukkan perbedaan bermakna. Model tataguna panel dengan sistem sadap ke arah atas menghasilkan produktivitas karet yang lebih tinggi dibandingkan sistem konvensional (kombinasi B0 ke arah bawah dan H0 ke arah atas). Sistem serupa yang mengadopsi prinsip sadap ke arah atas sejak awal telah diusulkan oleh Sumarmadji *et al.* (2017) dengan nama Quick Tap (Q-Tap), menggunakan pola S/3 U d3. ET2.5% 9/y; S/2 d3.ET.2.5% 9/y. Model ini memiliki potensi produktivitas hingga 2.565 kg/ha/tahun.

Namun, pengalaman lapangan menunjukkan bahwa perhitungan potensi produksi harus mempertimbangkan faktor kehilangan hasil, seperti gangguan akibat hujan dan penurunan produksi karena



Gambar 2. Produktivitas tahunan karet (kg/ha/tahun) pada berbagai sistem penyadapan karet dengan frekuensi sadap d3 dan d4

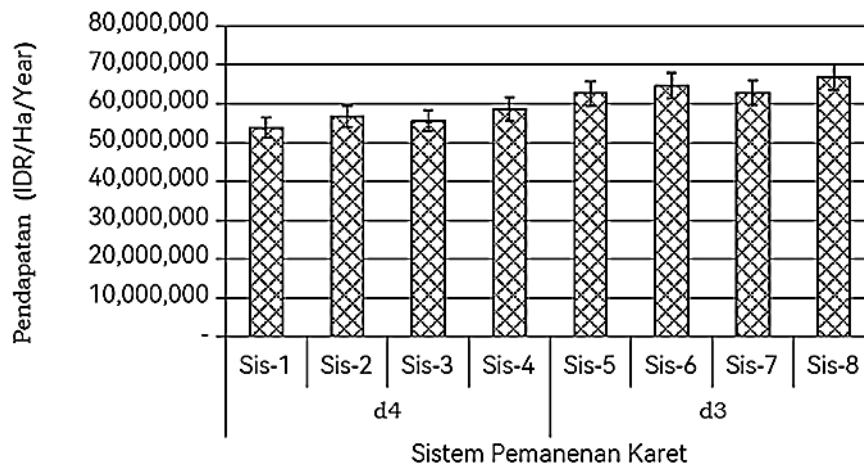
serangan penyakit gugur daun pada fase puncak produksi. Sistem sadap ke arah atas sejak awal ini merupakan pengembangan dari sistem EXPEC 315, yang dirancang untuk mempersingkat masa tunggu sadap (matang sadap) pada tanaman belum menghasilkan (TBM) menjadi 3,5 tahun dengan rata-rata lilit batang 40 cm (Sumarmadji & Junaidi, 2008). Berbeda dengan latar belakang model EXPEC 315 tersebut, simulasi penyadapan singkat dalam studi ini baru dimulai saat tanaman berumur 6 tahun dengan lilit batang rata-rata di atas 45 cm.

Pada satu siklus ekonomi, pendapatan total rata-rata dari simulasi dengan frekuensi sadap d4 adalah Rp674.478.977,00 per ha/siklus, dengan produktivitas tahunan rata-rata sebesar 1.760 kg/ha/tahun. Sementara itu, simulasi dengan frekuensi d3 menghasilkan pendapatan total yang lebih tinggi, yaitu Rp741.585.214,00 per ha/siklus, dengan produktivitas tahunan rata-rata 2.011 kg/ha/tahun. Secara tahunan, kisaran pendapatan untuk frekuensi d4 adalah Rp53–59 juta per ha/tahun, sedangkan untuk frekuensi d3 adalah Rp63–67 juta per ha/tahun (Gambar 3).

Ketersediaan tenaga penyadap menjadi pertimbangan kunci dalam memilih frekuensi sadap, baik d3 maupun d4. Di berbagai wilayah sentra karet seperti Sumatera dan

Jawa, persaingan memperebutkan tenaga kerja cukup tinggi, sementara minat generasi muda untuk bekerja sebagai penyadap semakin menurun. Saat ini, kelangkaan penyadap telah menjadi masalah serius bagi industri perkebunan karet (Tistama, 2024). Salah satu solusi untuk mengatasi tantangan ini adalah penerapan sistem sadap borong, di mana panen dilakukan dengan tetap mematuhi norma sadap secara ketat. Pendekatan ini telah diimplementasikan oleh salah satu perusahaan perkebunan negara dengan model pembelian produksi karet kering per kilogram.

Analisis kelayakan finansial dalam studi ini menggunakan kriteria NPV (Net Present Value) untuk mengukur nilai kini dari arus kas selama siklus usaha. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua simulasi yang diuji layak secara finansial. Pada frekuensi sadap d4, nilai NPV berkisar antara Rp8.547.660,00 hingga Rp19.016.178,00. Sementara itu, simulasi dengan frekuensi d3 menghasilkan NPV yang jauh lebih tinggi, yaitu antara Rp23.779.613,00 hingga Rp38.226.192,00. Selain itu, sistem sadap arah atas juga menunjukkan nilai NPV yang lebih baik dibandingkan dengan model konvensional. Dengan seluruh nilai NPV yang positif, dapat disimpulkan bahwa investasi pada kedelapan skenario simulasi penyadapan ini layak untuk dilaksanakan (Ashari, 2022).



Gambar 3. Pendapatan (Rp/ha/tahun) beberapa simulasi sistem penyadapan karet

Internal Rate of Return (IRR) yang diperoleh dari simulasi berada di atas 10%. Nilai IRR terendah terdapat pada Simulasi 1 (11,86%) dan Simulasi 3 (11,93%). Sementara itu, Simulasi 2 dan 4 mencapai nilai yang lebih tinggi, masing-masing sebesar 13,72% dan 14,02%. Simulasi 5, 6, 7, dan 8 menunjukkan hasil yang paling optimal dengan kisaran IRR 14,6% hingga 17,8%, sehingga relatif lebih aman dari segi pengembalian investasi.

Dengan asumsi tingkat pengembalian minimum (*hurdle rate*) sebesar 10%, seluruh simulasi telah memenuhi kelayakan karena menghasilkan IRR di atas batas tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa investasi pada simulasi penyadapan tersebut menguntungkan, karena imbal hasilnya melebihi tingkat pengembalian minimum yang diharapkan investor. Dalam konteks perkebunan karet, laju pengembalian investasi sangat ditentukan oleh pencapaian produksi selama masa tanaman menghasilkan semakin tinggi produksi, semakin baik pula tingkat pengembaliannya. Berdasarkan kriteria ini, karena seluruh nilai IRR lebih tinggi dari tingkat diskon 10%, maka seluruh usaha simulasi dinyatakan layak untuk dilaksanakan (Dewi *et al.*, 2023).

Berdasarkan analisis Gross B/C Ratio, seluruh sistem penyadapan singkat yang diuji menghasilkan nilai di atas 1, yang menunjukkan kelayakan finansial. Pada

frekuensi sadap d4, nilai terendah Gross B/C Ratio adalah 1,56, sementara pada frekuensi d3 nilai terendahnya adalah 1,79. Nilai tertinggi dicapai oleh Simulasi 8, yaitu 1,79. Temuan ini mengindikasikan bahwa semua skenario simulasi memberikan manfaat (*benefit*) yang lebih besar dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan. Selain itu, jumlah populasi tanaman per hektar tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap nilai rasio ini. Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa bisnis karet dengan sistem penyadapan singkat yang menerapkan sadap arah atas sejak awal menghasilkan manfaat finansial yang lebih tinggi dibandingkan dengan model penyadapan singkat konvensional (Tabel 2).

Payback Period (PBP) memberikan gambaran mengenai jangka waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal investasi. Pada simulasi yang menerapkan frekuensi sadap d4 (Simulasi 1–4), periode pengembalian modal berkisar antara 11,34 hingga 13,14 tahun. Sementara itu, simulasi dengan frekuensi d3 (Simulasi 5–8) memiliki PBP yang lebih singkat, yaitu antara 10,13 hingga 11,62 tahun. PBP terlama terjadi pada Simulasi 1 (13,14 tahun), sedangkan PBP tercepat dicapai oleh Simulasi 8 (10,13 tahun).

Dalam siklus ekonomi 15 tahun, PBP selama 13 tahun masih menyisakan waktu sekitar 5 tahun untuk memperoleh keuntungan

Tabel 2. Analisis ekonomi perkebunan karet menggunakan sistem penyadapan singkat 12 tahun

Kriteria Kelayakan	Simulasi 1	Simulasi 2	Simulasi 3	Simulasi 4	Simulasi 5	Simulasi 6	Simulasi 7	Simulasi 8
NPV (Rp)	8.547.660	17.388.428	8.939.019	19.016.178	23.779.613	35.754.728	24.548.037	38.226.192
IRR (%)	11,86%	13,72%	11,93%	14,02%	14,64%	16,83%	14,74%	17,30%
Gross B/C	1,56	1,65	1,56	1,66	1,79	1,91	1,79	1,93
PBP (Tahun)	13,14	11,71	12,83	11,34	11,62	10,37	11,33	10,13

Keterangan : NVP : *Net Present Value*, IRR; *Internal Rate of Return*, B/C; *benefit cost ratio*, PBP ; *Payback Periode*.

sebelum tanaman dikonversi. Model tataguna panel 2 secara konsisten menunjukkan kemampuan yang lebih cepat dalam mengembalikan investasi dibandingkan dengan Model 1. Dengan demikian, penerapan frekuensi d3 dapat mempercepat pengembalian modal, sehingga masih tersisa waktu 6 hingga 8 tahun untuk meraih keuntungan dari budidaya karet.

Beberapa klon yang dianjurkan dalam simulasi ini, selain RRIC 100, adalah IRR 5, PB 330, dan GT1. Klon-klon tersebut memiliki produksi yang stabil sepanjang tahun serta responsif terhadap stimulan. Respons terhadap stimulan menjadi faktor penting jika ingin menerapkan frekuensi sadap rendah seperti d4. Selain itu, ketiga klon tersebut memiliki pertumbuhan lilit batang yang relatif cepat (jagur) dan toleran terhadap penyakit daun seperti *Oidium*, *Colletotrichum*, dan *Corynespora* (Balai Penelitian Sungei Putih, 2008; Sayurandi, 2020). GT1 cukup baik untuk daerah kering seperti di Jawa, sementara IRR 5 dan PB 330 memiliki performa yang baik di wilayah Sumatera. Perusahaan perkebunan juga dapat mempertimbangkan penerapan model tataguna panel 2 dengan sadapan arah atas sejak awal menggunakan klon metabolisme tinggi atau sedang, seperti IRR 112 dan PB 260.

Pendapatan Tambahan dari Kayu Karet

Setelah pengusahaan karet berakhir dan lahan dikonversi kembali menjadi perkebunan sawit, terdapat potensi tambahan pendapatan

dari penjualan kayu karet antara Rp13 juta hingga Rp18,2 juta per hektar (Tabel 10). Besaran pendapatan ini bergantung pada tiga faktor utama: (1) jumlah sisa tegakan, (2) kualitas kayu, dan (3) harga jual. Dalam penelitian ini, jumlah tegakan di akhir siklus telah diasumsikan mengalami pengurangan akibat serangan jamur akar putih. Namun, tingkat serangan penyakit ini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kondisi iklim, metode penyiapan lahan (Rahayu *et al.*, 2017), mikroklimat lokasi (Fitriani & Widodo, 2022), sifat fisik tanah (Parasayu, 2015), generasi tanaman, serta komitmen pengelola kebun dalam penerapan pengendalian penyakit. Dengan demikian, jumlah tegakan akhir di lapangan dapat berbeda dari asumsi yang digunakan.

Integrasi hasil kayu sebagai produk akhir (*end-of-cycle product*) dari perkebunan karet sejalan dengan konsep bio-ekonomi sirkular (*circular bioeconomy*) dalam kehutanan dan pertanian. Dalam kerangka ini, semua biomassa dari suatu sistem produksi dimanfaatkan untuk memaksimalkan nilai ekonomi dan meminimalkan limbah. Penelitian oleh Kleinschmit *et al.* (2017) menekankan bahwa penghitungan nilai ekonomi total dari sistem agroforestri atau perkebunan tanaman industri harus memasukkan tidak hanya komoditas primer (lateks), tetapi juga produk-produk sampingan seperti kayu dan jasa lingkungan. Oleh karena itu, pendapatan Rp. 13-18 juta per hektar dari

Tabel 3. Potensi pendapatan dari penjualan kayu log karet yang layak jual. Jumlah tegakan diasumsikan sebanyak 95%, 90% dan 85% dari tegakan yang masih tersisa

Sisa Tegakan (pohon)	Σ Tegakan dapat terjual (pohon)		
	95%	90%	85%
480	456	410,4	348,84
450	428	385	327
Pendapatan (Rp)			
480	18.240.000	16.416.000	13.953.600
450	17.100.000	15.390.000	13.081.500

Keterangan : Harga kayu karet diasumsikan Rp39.000,00/batang

kayu log merepresentasikan realisasi dari prinsip sirkularitas ini, yang secara signifikan meningkatkan nilai tambah keseluruhan (*overall value-added*) dari satu siklus usaha karet dan mengurangi biaya pembukaan lahan untuk rotasi tanaman berikutnya.

Kualitas kayu juga dipengaruhi oleh kualitas sadapan, di mana teknik sadap yang baik dapat menjaga kualitas kayu agar tetap memenuhi standar kayu log. Pengaruh teknik penyadapan (*tapping technique*) terhadap kualitas kayu telah mendapat perhatian. Berdasarkan pengamatan di perkebunan karet terhadap sistem sadap yang intensif dan tidak terkontrol dapat menyebabkan cedera kayu (*wood injury*) yang signifikan, seperti pembusukan atau perubahan warna yang pada akhirnya menurunkan nilai kayu untuk penggunaan akhir yang bernilai tinggi (*roundwood* untuk furnitur). Oleh karena itu, standar sadap yang baik tidak hanya untuk menjaga produktivitas lateks, tetapi juga merupakan praktik silvikultur prasyarat (*pre-harvest silviculture*) untuk memastikan kualitas kayu.

Pasar kayu karet, baik untuk kebutuhan *woodchip* maupun *roundwood*, diproyeksikan tumbuh pesat pada periode 2020–2030 dengan perkiraan peningkatan masing-masing sebesar 13,8% dan 39%. Pertumbuhan konsumsi kayu yang terutama dipicu oleh kawasan Asia ini diiringi dengan penguatan harga yang diperkirakan mencapai 9,2% untuk *woodchip*

dan 12,3% untuk *roundwood* (Lock *et al.*, 2021). Peningkatan konsumsi dan harga ini didukung oleh kualitas serat kayu karet yang sesuai sebagai bahan baku pulp (Jahan *et al.* 2011; Vachlepi, 2019) serta karakteristiknya sebagai *roundwood* yang cocok untuk furnitur karena memiliki kepadatan sedang, keawetan yang baik, dan warna yang cerah (Vintage & Specialty Wood, 2025).

Klaim mengenai kesesuaian kayu karet untuk furnitur didukung oleh karakteristiknya. Kajian oleh Killmann & Hong (2000) dari FAO mengklasifikasikan kayu karet sebagai kayu keras ringan hingga sedang (*light to medium hardwood*) dengan tekstur seragam dan kemudahan pengerjaan, sesuai untuk furnitur interior, panel, dan barang kerajinan. Peningkatan harga *roundwood* yang diproyeksikan mencerminkan permintaan pasar akan kayu bernilai tambah ini. Tantangannya terletak pada rantai pasokan dan pemrosesan (*supply chain and processing*) yang efisien untuk memastikan kualitas kayu terjaga sejak tebang hingga ke pabrik pengolahan, sebagaimana ditunjukkan oleh faktor-faktor jarak dan infrastruktur dalam analisis.

Pergiliran Tanaman Perkebunan

Pergiliran sering diterapkan pada tanaman semusim dengan maksud memotong siklus hama penyakit dan perbaikan komposisi hara tanah. Malik *et al.* (2025) menyampaikan bahwa rotasi tanaman menguntungkan di

beberapa aspek seperti pengendalian penyakit, menjaga kesehatan tanah, dan penanaman satu jenis *monoculture* justru menyebabkan penurunan produksi.

Model pergiliran ini akan lebih menarik dengan penerapan budidaya polikultur perkebunan karet dengan komoditas pangan atau energi. Polikultur yang disarankan adalah pola tanam karet dengan model baris ganda (*double row*) dengan jarak tanam lebar seperti $(6 \times 2) \times 14$ m yang diintegrasikan tanaman buah (Budi *et al.*, 2008), jarak $(4 \times 3) \times 19$ m diintegrasikan dengan tanaman kopi atau kakao dengan populasi tanaman karet adalah 420 – 435 pohon/ha (Sahuri *et al.*, 2020). Model integrasi telah juga dilakukan antara tanaman karet dengan padi dan hortikultura (Sahuri *et al.*, 2021). Polikultur tanaman karet dengan komoditas lain dengan jumlah populasi karet sekitar 400 - 420 pohon per hektar masih dapat mendukung produktivitas yang menguntungkan. Meskipun demikian model polikultur untuk perusahaan perkebunan besar tidak mudah diterapkan dan lebih mudah diadopsi penerapan polikultur di lahan-lahan milik rakyat. Van Noordwijk *et al.* (2022) mengakui bahwa transisi dari monokultur ke sistem agroforestri yang kompleks seringkali terhambat oleh rantai pasokan yang terfragmentasi, kebutuhan tenaga kerja yang berbeda, dan kurangnya mekanisme insentif yang jelas bagi perusahaan besar yang berfokus pada efisiensi skala besar

Pola tanam ganda tiga (*triple row*) pernah diuji coba di sebuah perusahaan perkebunan di Sumatera Utara. Model ini menerapkan jarak tanam $7,14 \times 5$ m dalam formasi segitiga sama kaki dengan jarak antar titik (tinggi) 1 m, menghasilkan populasi total 810 pohon per hektar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkembangan lilit batang pada pola ini relatif lebih lambat, sehingga penyadapan baru dapat dimulai setelah tanaman berumur 6 tahun. Rata-rata produksi karet selama 13 tahun penyadapan mencapai 28 gram per pohon per sadap (g/p/s), dengan total produksi karet kering 31.398 kg per hektar per siklus. Sementara itu, pengamatan biomassa kayu

menunjukkan rata-rata $0,381 \text{ m}^3$, yang lebih rendah jika dibandingkan dengan model jarak tanam tunggal ($0,498 \text{ m}^3$) (Nurhawaty & Siregar, 2013). Penelitian pada tanaman perkebunan lain menunjukkan hubungan serupa antara kepadatan tanam tinggi, kompetisi sumber daya, dan partisi asimilat. Misalnya, dalam perkebunan *Eucalyptus*, du Toit *et al.* (2010) melaporkan bahwa penanaman dengan kepadatan tinggi cenderung menghasilkan batang yang lebih kecil tetapi volume biomassa total per hektar yang lebih tinggi pada rotasi pendek, sesuai untuk tujuan produksi *pulp*.

Oleh karena itu, modifikasi jarak tanam dari $7,14 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ menjadi $7,64 \text{ m} \times 5,5 \text{ m}$ untuk menurunkan kepadatan adalah sebuah langkah menuju optimasi yang berorientasi pada multi-produk (lateks dan biomassa kayu). Pendekatan ini sejalan dengan konsep "tree-crop ideotype" dalam agroforestri, di mana karakteristik pohon (seperti arsitektur kanopi dan sistem akar) dipilih atau dikelola untuk meminimalkan kompetisi dengan tanaman sela (Burgess dan Rosati, 2018). Memperlebar jarak diharapkan mengurangi kompetisi antar pohon karet untuk cahaya, air, dan hara, sehingga meningkatkan pertumbuhan individu (lilit batang dan volume kayu) dan potensi produksi lateks per pohon, sambil tetap mempertahankan populasi yang cukup untuk hasil total per hektar yang kompetitif.

Kesimpulan

Frekuensi sadap d3 secara konsisten menghasilkan produktivitas karet ($23.581\text{--}25.003 \text{ kg/ha/siklus}$) dan pendapatan tahunan (Rp63–67 juta/ha) yang lebih tinggi dibandingkan d4, terutama karena hari sadap yang lebih banyak (110 hari/tahun). Model tataguna panel dengan sadap arah atas sejak awal terbukti lebih unggul daripada model konvensional. Populasi tanaman (550 vs 600 pohon/ha) tidak berpengaruh signifikan terhadap produktivitas per siklus. Semua skenario simulasi penyadapan singkat layak secara finansial. Kombinasi frekuensi d3 dan sadap arah atas (Simulasi 5–8) menunjukkan

kinerja terbaik dengan NPV tertinggi (Rp23,8–38,2 miliar), IRR terbaik (14,6–17,8%), *Gross B/C Ratio* tertinggi (1,79–1,93), dan *Payback Period* tercepat (10,1–11,6 tahun). Hal ini menjadikannya pilihan investasi yang paling menarik dan berisiko lebih rendah.

Daftar Pustaka

- Andriyani D.S., Tahir M., Kusumastuti A. 2020. Perbandingan Respons Dan Produksi Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis*) Klon Pb 260 dan RRIC 100 terhadap Aplikasi Stimulan. *Agritrop*, 18(2): 202 – 208. DOI: 10.32528/agritrop.v18i2.3787.
- Ashari U. 2022. Kelayakan Finansial Pengembangan Usaha Mikro Berbasis Komoditi Lokal. *Agribisnis Forum*, 12(1): 12 - 22.
- Balai Penelitian Sungei Putih. 2008. Pengenalan Klon-Klon Karet. Pusat Penelitian Karet: 40 hal.
- Burgess, P. J., & Rosati, A. 2018. Advances in European agroforestry: results from the AGFORWARD project. *Agroforestry Systems*, 92, 801-810.
- du Toit, B., Smith, C. W., & Little, K. M. 2010. Intensive silviculture. In: B. du Toit, C. W. Smith, & K. M. Little (Eds.), *Eucalypt plantations: management, soil and water issues* (pp. 1-32). Natal Publishers.
- Fitriani L.B., Widodo. 2022. Penekanan Sumber Inokulum *Rigidorus microporus* dengan Solarisasi Tanah dan Penambahan Bahan Organik. *J. Fitopatologi Indonesia*, 18(3): 107-114.
- IRRDB. 2024. Report: Secretary General IRRDB in International Rubber Conference. Yogyakarta, 12 October 2024.
- Jahan S., Haider M., Rahman M. Misbahuddin M., Mondal G.K. 2011. Evaluation of rubber wood (*Hevea brasiliensis*) as a pulping and papermaking raw materials. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 26(31): 258-263.
- Killmann, W., & Hong, L. T. 2000. Rubberwood – The Success of an Agricultural By-product. *Unasylva*, FAO, 51(200): 66-72.
- Kleinschmit, D., Art B., Giurca A., Mustalahti I., Sergeant A. Pulzl H. 2017. Environmental concerns in political bioeconomy discourses. *International Forestry Review*, 19 (1) : 1 – 15 . <https://doi.org/10.1505/146554817822407420>.
- Kusdiana APJ., Sinaga M., Tondok E.T. 2021. The Effect of Rubber Clones on Epidemic of Pestalotiopsis Leaf Fall Disease. *Warta Perkaretan* 2021, 40(1): 41-52.
- Lasminingsih M. 2006. Produktivitas Klon-Klon Karet Anjuran. Leaflet. Balai Penelitian Sembawa.
- Lock P., Legg P, Whittle, Black S. 2021. Global Outlook for Wood Markets to 2030: Projections of future production, consumption and trade balance. *Research Report. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences*. 68 pages.
- Malik, A.I., Bell, R., Zang, H. 2025. Exploring the plant and soil mechanisms by which crop rotations benefit farming systems. *Plant Soil*, 507:1–9.
- Parasayu K.S. 2015. Pengaruh Sifat Fisik Tanah Terhadap Jamur Akar Putih (*Rigidoporus microporus*) pada Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis*). *Skripsi*. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya.
- Pusat Penelitian Karet. 2024. Laporan Kajian *Turnaround Business* Komoditi Karet dalam Upaya Peningkatan Produktivitas Tanaman Karet Berkelanjutan di PT Perkebunan Nusantara IV. Sembawa.
- Rahayu M.S., Lubis L., Oemry S. 2017. Distribusi Peta Awak serangan Penyakit Jamur Akar Putih (*Rigidoporus microporus*) pada beberapa Perkebunan Karet Rakyat di Kabupaten Asahan. *J. Agroekoteknologi*, 5(1) : 131 – 137.

- Rahmana B.A., Hayata, Hartawan R. 2024. Intensitas Serangan Jamur Ganoderma so Pada perkebunan Kelapa Sawit Laha Mineral dan Lahan Pasang Surut. *Jurnal Media Pertanian*, 9(2): 148–154.
- Sahuri S, Nugraha I.S., Nurmansyah. 2019. Optimasi Pemupukan Padi Gogo Sebagai Tanaman Sela Tanaman Karet Belum Menghasilkan. *Warta Perkebunan*, 38(1): 23 - 34.
- Sahuri, Tistma R., Erdiansyah N., Prawoto A., Hartatri D.F.S. 2020. Diversifikasi Usaha Tani Kopi Kakao Berbasis Tanaman Karet Dengan Sistem Jarak Tanam Ganda. Pusat Penelitian Karet. 65 hal.
- Sahuri. 2018. Uji Adaptasi Enam Klon Di Lahan Pasang Surut. *Jurnal Litri*, 24(2): 56 – 64.
- Sahuri. 2020. Improvement The Growth and Yield of Rubber Through Rubber Based Intercropping System. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 17(1): 27-40. DOI: 10.20886/jpht.2020.17.1.27-40.
- Saptabina Usaha Tani Karet Rakyat. Penerbit Balai Penelitian Karet Sembawa, Banyuasin Simatra Selatan: 128 pages.
- Sayurandi. 2020. Evaluasi Perutmbuhan dan Produksi Karet beberapa Klon Introduksi di Wilayah Beriklim Basah. *Agro Estate*, 4(1): 21 - 31.
- Selim, M.M. 2019. A Review of Advantages, Disadvantages and Challenges of Crop Rotations. *Egypt. J. Agron. Vol. 41(1)*: 1- 10.
- Siagian N. 2006. Pembibitan dan Pengadaan bahan Tanam Karet Unggul. Buku Penerbit Balai Penelitian Karet Sungei Putih. Deliserdang Sumatra Utara : 96 pages.
- Sipayung T. 2024. Diseminasi Policy Breif, Kebijakan Keamanan Perkebunan. PASPI. Kerugian Ekonomi Serangan Ganoderma Sawit dan Ancaman Masa Depan Industri Sawit Nasional. Palm Oil Agribusiness Strategy policy Intitute
- Smit, H. (2016). The outlook for Rubber Prices and The Need for Appropriate Action. Disampaikan pada Global Rubber Conference 2016, 11-13 Oktober 2016, Krabi, Thailand.
- Sumarmadji dan Junaidi. (2008). Perakitan sistem sadap EXPEX-315 pada klon quickstarter. *Jurnal Penelitian Karet*, 26(2), 153-165.
- Sumarmadji, Rouf A., Aji Y.B.S., Widyasari T. 2017. Optimalisasi dan Penekanan Biaya Penyadapan dengan Sistem Sadap Intensitas Rendah. *Warta Perkebunan*, 36(1): 55-75.
- Susanto A., Prasetyo A.E., 2013. Metode Skrining Tanaman Kelapa Sawit Toleran *Ganoderma*. *Warta PPKS*, 18(30): 105–114.
- Susanto A., Prasetyo A.E., Wening S. 2013a. Infection Rate of Ganoderma at Four Soil Texture Classes. *J. Fitopatologi Indonesia*, 9(2): 39–46. DOI: 10.14692/jfi.9.2.39
- Susanto A., Prasetyo E., Wening S. 2013b. Laju Infeksi Ganoderma pada Empat Kelas Tesktur Tanah. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 9(2): 39–46.
- Syarifa L.F. Tistama. 2020. Analisis Kinerja dan Prospek Komoditas Karet. *Radar dePlantation*, 1(2):1-7.
- Thirdyawati N.A., Suharjono, Yulianti T. 2013. Pengaruh Rotasi dan Agen Pengendali Hayati terhadap Nematoda Parasit Tanaman. *Jurnal Biotropika*, 1(5):2011–2015.
- Tistama R, Syafaah A., Sahuri, Saputra J., Nugraha I.S. 2021. Aspek Teknis, Fisiologis, dan Ekonomis Berbagai Sistem Penyadapan Frekuensi Rendah untuk Merespon Tingginya Biaya Penyadapan Keangka Penyadap. *J. Penelitian Karet*, 29(1); 21 - 39.
- Tistama R. 2024. Apakah Industri Karet Alam Indonesia Berkelanjutan Dapat Berkelanjutan?. Sebuah Ulasan. *Warta Perkebunan*, 43(1): 39–56.
- Vachlepi A. 2019. Prospek Pemanfaatan Kayu Karet Sebagai Bahan Baku Pembuatan Pulp. *Warta Perkebunan* 38(1): 47 -60.

- Van Noordwijk, M., Duguma, L. A., Dewi, S., Leimona, B., Catacutan, D. C., Lusiana, B., ... & Minang, P. A. 2022. Agroforestry as policy option for forest-zone agriculture: A step towards climate-smart landscape governance? In: *Climate-Smart Landscapes: Multifunctionality in Practice* (pp. 165-184). World Agroforestry (ICRAF).
- Zou, Y., Liu, Z., Chen, Y., Wang, Y., Feng, S. 2024. Crop Rotation and Diversification in China: Enhancing Sustainable Agriculture and Resilience. *Agriculture*, 14(9): 1465.