

KONDISI AGROEKONOMI KARET RAKYAT DI KABUPATEN MANDAILING NATAL DAN ANALISIS KEBERLANJUTAN

*Agroeconomic Condition of Rubber Smallholder in Mandailing Natal Regency and
Sustainability Analysis*

Candra SYAHPUTRA^{1*}, Zulkarnain LUBIS², E. Harso KARDHINATA², Tumpal HS SIREGAR²,
Yusniar LUBIS², Syahbudin HASIBUAN², Iif Rahmat FAUZI³

¹Mahasiswa Magister Agribisnis Universitas Medan Area, Jalan Setia Budi Nomor 79B,
Medan

²Dosen Magister Agribisnis Universitas Medan Area, Jalan Setia Budi Nomor 79B, Medan

³Peneliti Pusat Penelitian Karet – Riset Perkebunan Nusantara, Jalan Salak No 1A, Bogor

*E-mail: pasaribuchandra09@gmail.com

Diterima: 25 Juli 2024/Disetujui: 15 Desember 2025

Abstract

This study examined the agro-economic conditions of smallholder rubber in Mandailing Natal Regency and its sustainability analysis. Conducted over a period of one year, this research employs Multidimensional Scaling (MDS) and Structure Equation Modeling-Partial Least Square (SEM-PLS) methods to analyze the data. The results indicate that input, on-farm, off-farm, and supporting categories significantly impact the sustainability of the rubber agribusiness system. Furthermore, Ecological, Economic, Social, and Technological dimensions play crucial roles in sustaining the rubber industry. The findings provide insights for stakeholders to improve the sustainability and economic viability of smallholder rubber farming in Mandailing Natal.

Keywords: agro-economic, sustainability, rubber farming, Mandailing Natal, MDS, SEM-PLS

Abstrak

Penelitian ini mengkaji kondisi agroekonomi karet rakyat di Kabupaten Mandailing Natal dan analisis keberlanjutannya. Penelitian ini dilakukan selama satu tahun dengan menggunakan metode *Multidimensional Scaling (MDS)* dan *Structure Equation*

Modeling-Partial Least Square (SEM-PLS) untuk menganalisis data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kategori *input*, *on-farm*, *off-farm*, dan penunjang berpengaruh signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet. Selain itu, dimensi Ekologi, Ekonomi, Sosial, dan Teknologi memainkan peran penting dalam menjaga keberlanjutan industri karet. Temuan ini memberikan wawasan bagi para pemangku kepentingan untuk meningkatkan keberlanjutan dan kelayakan ekonomi dari usaha tani karet rakyat di Mandailing Natal.

Kata Kunci: agroekonomi, keberlanjutan, usaha tani karet, Mandailing Natal, MDS, SEM-PLS

PENDAHULUAN

Karet alam merupakan salah satu komoditas utama yang memberikan kontribusi signifikan terhadap ekspor dan perekonomian Indonesia secara keseluruhan (Imelda et al., 2023; Rahman et al., 2025). Indonesia dikenal sebagai salah satu produsen karet terbesar kedua di dunia setelah Thailand, dengan produksi mencapai sekitar 3 juta ton per tahun dan 85-90% dikelola oleh petani rakyat (Agustina & Oktavia, 2021; Imelda et al., 2023; Rahman et al., 2025). Komoditas ini tidak hanya menjadi sumber pendapatan bagi petani dan pengusaha, tetapi juga menjadi

salah satu komoditas ekspor utama yang mendukung neraca perdagangan negara. Peran penting karet alam dalam industri manufaktur, terutama dalam produksi ban kendaraan bermotor, menjadikannya salah satu industri pengguna karet terbesar di dunia. Permintaan yang tinggi terhadap karet alam, baik dari dalam negeri maupun luar negeri, menunjukkan potensi ekonomi yang besar dari komoditas ini.

Kabupaten Mandailing Natal, yang terletak di Provinsi Sumatera Utara, merupakan salah satu daerah penghasil karet yang penting (Naldi et al., 2023). Kabupaten ini memiliki luas lahan perkebunan karet yang signifikan, dengan produktivitas yang tinggi. Data dari Dinas Perkebunan Provinsi Sumatera Utara tahun 2022 menunjukkan bahwa Mandailing Natal memiliki luas perkebunan karet mencapai 64.571 ha tanaman menghasilkan dengan total produksi mencapai 52.404 ton pada tahun 2021. Kecamatan Panyabungan, Panyabungan Timur, dan Kotanopan adalah tiga kecamatan utama yang berkontribusi besar terhadap produksi karet di kabupaten ini (Naldi et al., 2023).

Petani karet di Kabupaten Mandailing Natal menghadapi berbagai tantangan utama, meskipun wilayah ini memiliki potensi besar berupa luas lahan dan produksi yang tinggi, terutama akibat fluktuasi harga karet yang tajam serta penurunan harga yang signifikan sejak tahun 2011 (Agustina & Oktavia, 2021; Azis et al., 2021; Imelda et al., 2023). Hal ini tidak hanya mengancam potensi ekonomi yang disebutkan sebelumnya, tetapi juga berdampak langsung pada pendapatan petani, kemampuan investasi untuk peningkatan produktivitas, serta kondisi sosial-ekonomi mereka, sehingga sebagian petani beralih ke sektor lain seperti sawit yang dianggap lebih stabil dan menguntungkan (Agustina & Oktavia, 2021; Khaswarina et al., 2023). Fluktuasi dan penurunan harga karet yang terus-menerus menjadi masalah serius yang memutus keterkaitan antara potensi latar belakang produksi tinggi dengan keberlanjutan agribisnis karet di daerah ini.

Selain masalah ekonomi, keberlanjutan agribisnis karet juga dipengaruhi oleh dimensi ekologi, sosial, teknologi, dan infrastruktur (Parmawati et al., 2023; Yusuf et al., 2022). Pembangunan berkelanjutan dalam sektor pertanian karet memerlukan pendekatan multidimensi yang

mempertimbangkan semua aspek ini secara holistik. Menurut Yusuf et al. 2022, keberlanjutan agribisnis melibatkan dimensi penting seperti ekonomi, sosial, lingkungan (ekologi), dan teknologi, yang harus diseimbangkan untuk mencapai produksi efisien, ramah lingkungan, kesejahteraan petani, serta dukungan kelembagaan yang memadai.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi agroekonomi karet rakyat di Kabupaten Mandailing Natal dan menilai keberlanjutannya. Fokus penelitian mencakup analisis terhadap kategori input, on-farm, off-farm, dan penunjang serta dimensi ekologi, ekonomi, sosial, dan teknologi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang mendalam bagi para pemangku kepentingan untuk meningkatkan keberlanjutan dan kelayakan ekonomi usaha tani karet rakyat di Mandailing Natal.

METODOLOGI

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara, yang merupakan salah satu daerah penghasil karet utama (Naldi et al., 2023). Lokasi penelitian mencakup tiga kecamatan dengan produksi karet tertinggi: Kecamatan Panyabungan, Kecamatan Panyabungan Timur, dan Kecamatan Kotanopan (Naldi et al., 2023). Pemilihan ketiga kecamatan ini didasarkan pada kontribusi terbesar terhadap produksi karet di kabupaten tersebut berdasarkan data Dinas Perkebunan Provinsi Sumatera Utara tahun 2022. Penelitian dilakukan selama satu tahun, dari Januari hingga Desember 2023, mencakup tahap persiapan, pengumpulan data, analisis, dan penyusunan laporan.

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian ini adalah seluruh petani karet di tiga kecamatan utama Kabupaten Mandailing Natal, dengan jumlah populasi berdasarkan data Dinas Perkebunan Kabupaten Mandailing Natal sebagai berikut: 961 petani di Kecamatan Panyabungan, 450 petani di Kecamatan Panyabungan Timur, dan 225 petani di Kecamatan Kotanopan. Fokus penelitian diarahkan pada tiga kecamatan tersebut untuk mewakili variasi kondisi agroekonomi karet di wilayah tersebut. Keterwakilan desa

dari masing-masing kecamatan ditentukan secara purposive berdasarkan proporsi populasi petani karet yang dominan (desa dengan konsentrasi petani karet tertinggi) dan aksesibilitas lokasi (kemudahan akses jalan dan kedekatan dengan pusat kecamatan) untuk memfasilitasi pengumpulan data yang efektif.

Sampel diambil dengan menggunakan teknik *purposive sampling*, berdasarkan kriteria: luas lahan karet minimal 1 hektar, usia petani minimal 15 tahun, dan lama menjadi petani karet minimal 5 tahun. Jumlah sampel proporsional adalah 55 petani dari Kecamatan Panyabungan, 35 petani dari Kecamatan Panyabungan Timur, dan 30 petani dari Kecamatan Kotanopan (total 120 responden). Penentuan jumlah sampel mengacu pada rumus Slovin :

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \dots\dots\dots (1)$$

di mana tingkat kesalahan $e = 10\%$ ($e^2 = 0.01$) yang diterapkan secara proporsional terhadap total populasi 1.636 petani (menghasilkan sekitar 94 sampel ideal), namun disesuaikan lebih tinggi menjadi 120 untuk meningkatkan representativitas, dan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya penelitian agar tidak melebihi kapasitas logistik dan waktu.

Teknik Pengumpulan Data

Data primer diperoleh melalui kuesioner dan wawancara langsung dengan para petani karet. Kuesioner dirancang untuk mengumpulkan informasi mengenai input pertanian, praktik *on-farm* dan *off-farm*, dukungan kelembagaan, serta dimensi Ekologi, Ekonomi, Sosial, Dan Teknologi. Data sekunder diperoleh dari laporan tahunan Dinas Perkebunan, publikasi ilmiah, serta sumber-sumber relevan lainnya.

Analisis Data

Analisis data ini bertujuan untuk menjawab kedua tujuan penelitian utama, yaitu menganalisis kondisi agroekonomi karet rakyat melalui subsistem input, *on-farm*, *off-farm*, dan penunjang, serta menilai keberlanjutan agribisnis karet berdasarkan dimensi Ekologi, Ekonomi, Sosial, dan Teknologi di Kabupaten Mandailing Natal (Nashr et al., 2021; Santoso et al., 2023).

Penelitian ini menggunakan dua metode analisis utama:

1. Multidimensional Scaling, yang diterapkan untuk mengukur indeks keberlanjutan secara multidimensi (Hidayat et al., 2018; Murhidayah et al., 2023).
2. Structural Equation Modelling-Partial Least Squares, yang digunakan untuk menguji hubungan antarvariabel laten yang memengaruhi keberlanjutan sistem agribisnis (Kamaludin et al., 2024; Rico et al., 2024).

Multidimensional Scaling

RAPFISH-MDS digunakan untuk mengukur indeks keberlanjutan agribisnis karet secara multidimensi di tiga kecamatan terpilih (Murhidayah et al., 2023; Nashr et al., 2021; Yusuf et al., 2022). Proses analisis melibatkan langkah-langkah berikut (Darwis et al., 2023; Parmawati et al., 2023):

1. Penentuan dan seleksi atribut/indikator keberlanjutan per dimensi yang akan diukur, meliputi: dimensi ekologi, ekonomi, sosial, teknologi, infrastruktur, berdasarkan literatur, observasi lapangan, dan referensi baik/buruk (Murhidayah et al., 2023; Santoso et al., 2023).
2. Pengumpulan data pada setiap indikator melalui survei serta wawancara dengan petani karet.
3. *Ordination multidimensi* dengan algoritma MDS untuk menghasilkan proyeksi peta dua dimensi, indeks keberlanjutan per dimensi, serta diagram layang-layang (*kite diagram*).
4. *Leverage analysis* untuk mengidentifikasi atribut sensitif yang paling berpengaruh terhadap keberlanjutan.
5. Analisis *Monte Carlo* untuk mengestimasi efek kesalahan sampling dan ketidakpastian dengan tingkat kepercayaan 95%.
6. Uji *goodness of fit model* melalui nilai $\text{stress} \leq 0.25$ dan R-square mendekati 1 untuk memvalidasi akurasi (Murhidayah et al., 2023; Nashr et al., 2021).

Indeks keberlanjutan yang dihasilkan dari RAPFISH-MDS diklasifikasikan berdasarkan rentang nilai tertentu untuk menentukan status keberlanjutan.

Klasifikasi ini membantu dalam keberlanjutan sistem agribisnis. Berikut interpretasi hasil analisis, di mana rentang adalah ringkasan kategori status nilai indeks mencerminkan tingkat keberlanjutan yang umum digunakan:

Tabel 1. Standarisasi Status Keberlanjutan dalam RAPFISH-MDS
Table 1. Standardization of Sustainability Status in RAPFISH-MDS

Rentang Nilai Indeks	Status Keberlanjutan
0 – 25,0	Sangat Tidak Berkelanjutan / Buruk
25,1 – 50,0	Kurang Berkelanjutan / Poor
50,1 – 75,0	Cukup Berkelanjutan / Fair
75,1 - 100	Berkelanjutan / Baik / Good

Sumber: Diadaptasi dari al. (2024); Dewinta & Ma'ruf (2020); Parsaulian et al. (2024); Santoso et al. (2023).

1. Operasionalisasi Variabel Penelitian

Tabel 2. Variabel Operasional
Table 2. Operation Variable

Variabel	Indikator	Skala Pengukuran
Ekologi	Tingkat pencemaran air (Eko2)	Skala Likert
	Tingkat pencemaran tanah (Eko5)	Skala Likert
Ekonomi	Ketersediaan air (Eko6)	Skala Likert
	Keuntungan (Ekon1)	Skala Likert
	Fluktuasi harga (Ekon9)	Skala Likert
	Produksi (Ekon10)	Skala Likert
Teknologi	Teknologi benih (Tek1)	Skala Likert
	Teknologi pupuk (Tek2)	Skala Likert
	Teknologi pengendalian HPT (Tek5)	Skala Likert
	Teknologi pasca panen (Tek6)	Skala Likert
Sosial	Komunitas sosial petani (Sos3)	Skala Likert
	Pengetahuan lingkungan (Sos4)	Skala Likert
	Kontribusi sosial (Sos5)	Skala Likert
	Hubungan komunitas (Sos8)	Skala Likert
Input (Subsistem)	Akses sumber daya (Inp3)	Skala Likert
	Kualitas bibit (Inp4)	Skala Likert
	Penggunaan pupuk (Inp5)	Skala Likert
	Penggunaan pestisida (Inp6)	Skala Likert
	Tenaga kerja (Inp7)	Skala Likert
	Manajemen lahan (On1)	Skala Likert
On-farm (Subsistem)	Teknik budidaya (On2)	Skala Likert
	Pengolahan hasil (Off1)	Skala Likert
Off-farm (Subsistem)	Akses pasar (Off2)	Skala Likert
	Kondisi irigasi (infra1)	Skala Likert
Penunjang (Subsistem, termasuk Infrastruktur)	Lembaga informasi	Skala Likert
	Lembaga saprodi	Skala Likert
	Lembaga penyuluhan	Skala Likert
	Indeks keberlanjutan (mds)	Indeks persentase (0-100, dengan kategori: Buruk <25, Kurang 25-50, Cukup 50-75, Baik >75)
Agribisnis (Variabel Endogen Akhir)	Performa agribisnis	Skala komposit dari SEM-PLS (berdasarkan path coefficients).

Structural Equation Modelling-Partial Least Squares (SEM-PLS)

SEM-PLS digunakan untuk menguji hubungan kausal antara variabel laten eksogen (X) seperti dimensi ekologi, ekonomi, sosial, teknologi, infrastruktur, serta subsistem input, *on-farm*, *off-farm*, dan penunjang yang berpengaruh terhadap variabel endogen (Y) yaitu keberlanjutan sistem agribisnis karet (Kamaludin et al., 2024). Penggunaan SEM-PLS melengkapi analisis RAPFISH-MDS, di mana RAPFISH-MDS menghasilkan indeks keberlanjutan multidimensi dan identifikasi atribut sensitif (Murhidayah et al., 2023; Nashr et al., 2021), sedangkan SEM-PLS menguji hipotesis pengaruh antarvariabel laten secara kausal untuk memvalidasi model struktural dan memberikan rekomendasi prioritas intervensi (Kamaludin et al., 2024). Langkah-langkah analisis SEM-PLS adalah sebagai berikut:

1. Evaluasi Model Pengukuran: Meliputi pengujian validitas konvergen (*outer loading* > 0.7, AVE > 0.5) dan diskriminan, serta reliabilitas komposit dan *Cronbach's alpha*.
2. Evaluasi Model Struktural: Meliputi pengujian koefisien jalur, nilai *t-statistic*, dan *R-square* untuk menilai kekuatan prediktif model.
3. Pengujian Hipotesis: Hipotesis diuji dengan koefisien jalur dan *t-statistic* (signifikan pada), yaitu H1: dimensi ekologi (X) berpengaruh positif signifikan terhadap keberlanjutan agribisnis (Y), H2: subsistem input (X) berpengaruh positif signifikan terhadap keberlanjutan (Y), H3: dimensi ekonomi (X) berpengaruh positif signifikan terhadap keberlanjutan (Y), H4: dimensi sosial (X) berpengaruh positif signifikan terhadap keberlanjutan (Y), dan seterusnya sesuai model struktural yang melibatkan dimensi teknologi, infrastruktur, *on-farm*, *off-farm*, serta penunjang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis MDS

Indeks Keberlanjutan

Interpretasi hasil perhitungan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang bervariasi antara nilai MDS dan *Monte Carlo* untuk masing-masing kategori. Kategori input mencakup semua sumber daya yang digunakan dalam proses produksi agribisnis karet, seperti bibit, pupuk, pestisida, dan tenaga kerja. Nilai indeks MDS sebesar 38,8 dan *Monte Carlo* sebesar 37,97, yang menempatkannya dalam status "Kurang berkelanjutan". Perbedaan sebesar 0,83 antara kedua metode ini menunjukkan bahwa meskipun ada sedikit variasi, keduanya sepakat bahwa sektor input masih membutuhkan banyak perbaikan untuk mencapai keberlanjutan yang lebih baik.

Kategori *onfarm* mencakup semua kegiatan yang dilakukan di lahan pertanian, termasuk manajemen lahan, teknik budidaya, dan pemeliharaan tanaman karet. Nilai indeks masing-masing sebesar 37,4 (MDS) dan 37,24 (*Monte Carlo*) juga masuk dalam kategori "Kurang berkelanjutan". Perbedaan yang sangat kecil sebesar 0,16 menunjukkan konsistensi penilaian antara MDS dan *Monte Carlo*.

Kategori *off-farm* mencakup kegiatan yang dilakukan di luar lahan pertanian namun masih berhubungan dengan produksi karet, seperti pengolahan hasil panen, pemasaran, dan distribusi. Indeks keberlanjutan adalah 28,7 (MDS) dan 28.86 (*Monte Carlo*), yang juga berada dalam status "Kurang berkelanjutan". Perbedaan yang kecil sebesar 0,16 menunjukkan kesesuaian antara kedua metode dalam menilai aspek pascapanen dan pemasaran.

Kategori penunjang mencakup semua kegiatan dan fasilitas yang mendukung operasional agribisnis, seperti infrastruktur, akses ke pasar, dan layanan penyuluhan. Nilai indeks MDS sebesar 14,5 dan *Monte Carlo* sebesar 14,97 menempatkan kategori ini dalam status "buruk".

Tabel 3. Hasil MDS dan *Monte Carlo* Indeks Keberlanjutan

Table 3. Result of MDS and Monte Carlo Sustainability Index

Kategori	MDS	Monte Carlo	Perbedaan
<i>Input</i>	38,8	37,97	0,83
<i>Onfarm</i>	37,4	37,24	0,16
<i>Off-farm</i>	28,7	28,86	0,16
Penunjang	14,5	14,97	0,47

(Sumber: Data Olahan, 2024)

Indeks Sistem Agribisnis

Tabel 4. Hasil MDS dan *Monte Carlo* untuk Indeks Sistem Agribisnis

Table 4. Result of MDS and Monte Carlo of Agribusiness Index

Kategori	MDS	Monte Carlo	Perbedaan
Ekologi	39,6	39,13	0,47
Ekonomi	54,1	53,96	0,14
Teknologi	27,7	28,25	0,55
Sosial	30,4	29,80	0,60
Infrastruktur	32,4	32,58	0,18

(Sumber: Data Olahan, 2024)

Perbedaan sebesar 0,47 menunjukkan bahwa kedua metode cukup sejalan dalam menilai keberlanjutan dari aspek penunjang. Hal ini menunjukkan bahwa sektor penunjang membutuhkan perhatian khusus dan peningkatan signifikan untuk mencapai keberlanjutan yang lebih baik.

Interpretasi hasil perhitungan pada Tabel di atas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang bervariasi antara nilai MDS dan *Monte Carlo* untuk masing-masing kategori dalam sistem agribisnis. Dimensi ekologi mencakup faktor-faktor seperti keanekaragaman hayati, konservasi lingkungan, dan praktik pertanian berkelanjutan. Nilai indeks MDS sebesar 39,6 dan *Monte Carlo* sebesar 39,13

menempatkan kategori ini dalam status "kurang berkelanjutan". Perbedaan sebesar 0,47 menunjukkan bahwa kedua metode cukup sejalan dalam menilai keberlanjutan dari aspek ekologi.

Dimensi ekonomi meliputi aspek-aspek seperti profitabilitas, efisiensi produksi, dan akses ke pasar. Nilai indeks MDS sebesar 54,1 dan *Monte Carlo* sebesar 53,96 menempatkan kategori ini dalam status "Cukup berkelanjutan". Perbedaan yang sangat kecil sebesar 0,14 menunjukkan bahwa kedua metode konsisten dalam penilaian aspek ekonomi.

Dimensi teknologi mencakup adopsi teknologi baru, inovasi dalam proses produksi, dan penggunaan alat-alat modern. Nilai indeks MDS sebesar 27,7 dan *Monte*

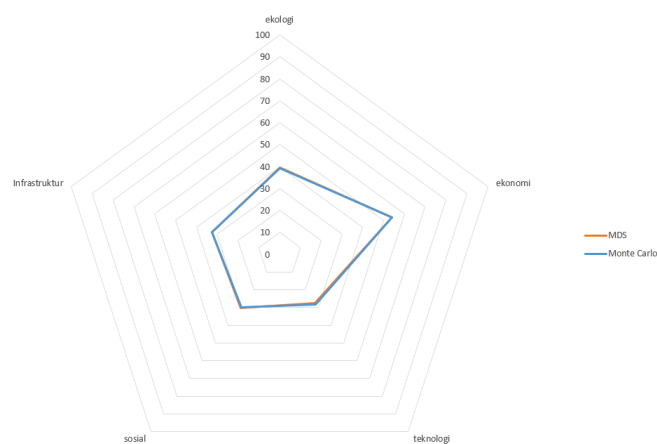
Carlo sebesar 28,25 menempatkan kategori ini dalam status "Kurang berkelanjutan". Perbedaan sebesar 0,55 mengindikasikan adanya variasi penilaian antara kedua metode, namun keduanya sepakat bahwa adopsi teknologi masih rendah.

Dimensi sosial mencakup kesejahteraan sosial, hubungan komunitas, dan kontribusi sosial dari kegiatan agribisnis. Nilai indeks MDS sebesar 30,4 dan *Monte Carlo* sebesar 29,80 menempatkan kategori ini dalam status "Kurang berkelanjutan".

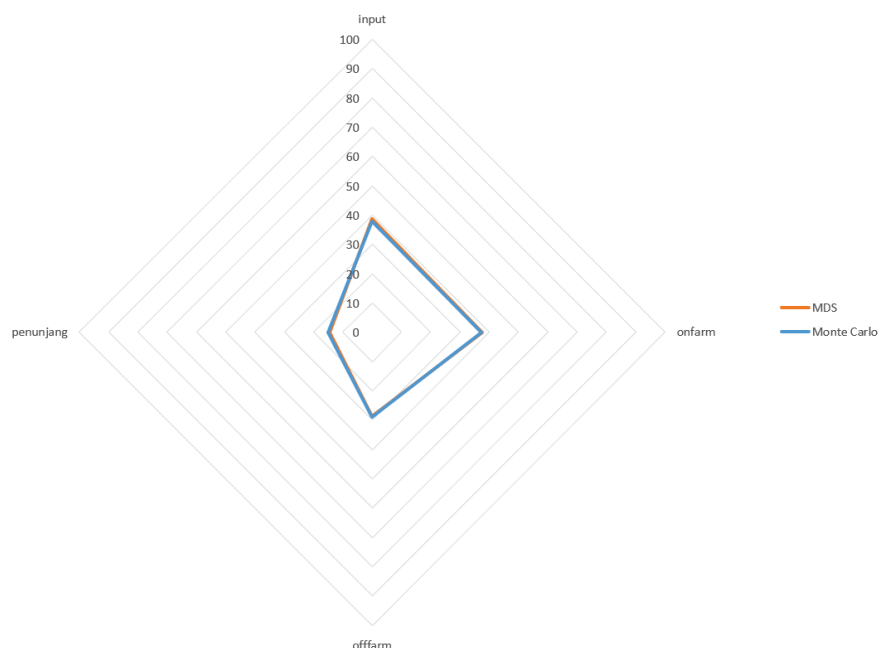
Perbedaan sebesar 0,60 menunjukkan

variasi dalam penilaian, namun keduanya mengindikasikan bahwa aspek sosial seperti kesejahteraan petani dan komunitas masih perlu ditingkatkan.

Dimensi infrastruktur mencakup ketersediaan fasilitas dan layanan yang mendukung operasional agribisnis, seperti jalan, irigasi, dan layanan penyuluhan. Nilai indeks MDS sebesar 32,4 dan *Monte Carlo* sebesar 32,58 menempatkan kategori ini dalam status "Kurang berkelanjutan". Perbedaan yang sangat kecil sebesar 0,18 menunjukkan konsistensi penilaian antara kedua metode.

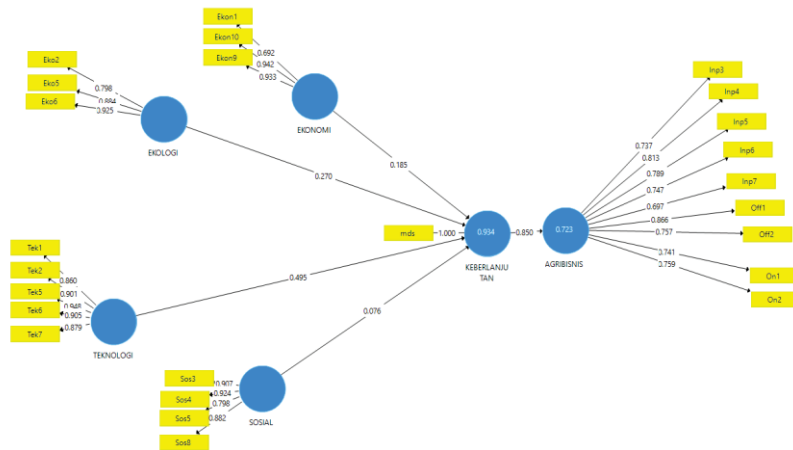


Gambar 1. Visualisasi MDS dan *Monte Carlo* Indeks Keberlanjutan
Figure 1. MDS and *Monte Carlo* Visualization of Sustainability Indices



Gambar 2. Visualisasi MDS dan *Monte Carlo* Indeks Sistem Agribisnis
Figure 2. MDS and *Monte Carlo* Visualization of the Agribusiness System Index

Analisis Outer Model Loading Factor



Gambar 3. Model SEM-PLS
Figure 3. SEM-PLS Model

Tabel 5. Loading factor indikator
Tabel 5. Indicator of loading factor

Indikator	Agribisnis	Ekologi	Ekonomi	Keberlanjutan	Sosial	Teknologi
Eko2	0,798					
Eko5	0,884					
Eko6	0,925					
Ekon1		0,692				
Ekon10		0,942				
Ekon9		0,933				
Inp3	0,737					
Inp4	0,813					
Inp5	0,789					
Inp6	0,747					
Inp7	0,697					
Off1	0,866					
Off2	0,757					

Indikator	Agribisnis	Ekologi	Ekonomi	Keberlanjutan	Sosial	Teknologi
On1	0,741					
On2	0,759					
Sos3				0,907		
Sos4				0,924		
Sos5				0,798		
Sos8				0,882		
Tek1					0,86	
Tek2					0,901	
Tek5					0,948	
Tek6					0,905	
Tek7					0,879	
mds			1			

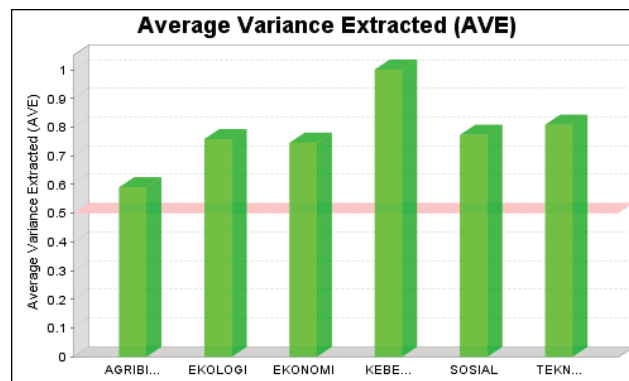
(Sumber: Data olahan, 2024)

Loading factor digunakan untuk mengukur korelasi antara indikator dan konstruk yang diukur. Nilai *loading factor* yang diharapkan minimal adalah 0.7 untuk menunjukkan validitas konstruk yang memadai. Tabel di bawah ini menunjukkan *loading factor* dari setiap indikator terhadap konstruk yang diukur.

Hasil analisis menunjukkan bahwa semua indikator memiliki nilai *loading factor* di atas 0,7, yang menandakan validitas konvergen yang baik. Sebagai contoh, indikator Eko2, Eko5, dan Eko6 pada

dimensi Ekologi masing-masing memiliki nilai *loading factor* sebesar 0,798, 0,884, dan 0,925. Ini menunjukkan bahwa indikator-indikator tersebut mampu mengukur dimensi Ekologi dengan akurat. Indikator Ekon10 dan Ekon9 pada dimensi Ekonomi memiliki nilai *loading factor* sebesar 0,942 dan 0,933, yang juga menunjukkan validitas yang tinggi. Pada dimensi Teknologi, indikator Tek5 dan Tek6 memiliki nilai *loading factor* sebesar 0,948 dan 0,905, menunjukkan bahwa instrumen ini sangat reliabel.

Average Variance Extracted (AVE)

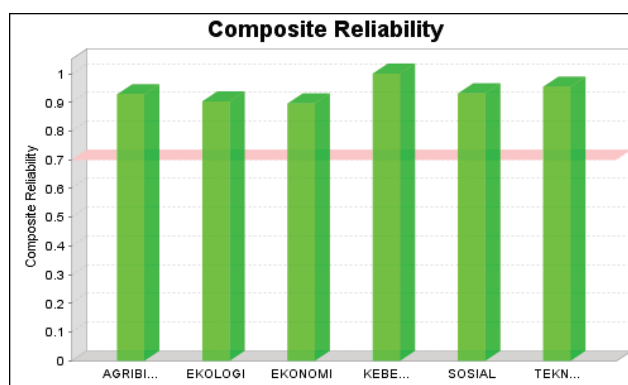


Gambar 4. Grafik AVE per indikator
Figure 4. AVE chart by indicator

AVE digunakan untuk mengukur seberapa baik indikator-indikator yang digunakan mewakili konstruk yang diukur. Nilai AVE yang diharapkan adalah di atas 0,5 untuk menunjukkan keterkaitan yang memadai antara indikator dan konstruk yang diukur. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua variabel memenuhi kriteria ini, yang berarti bahwa semua varians dari indikator dapat dijelaskan oleh variabel yang bersangkutan. Ini menunjukkan bahwa variabel-variabel tersebut memiliki validitas konvergen yang kuat.

Nilai AVE yang tinggi menunjukkan bahwa konstruk yang diukur oleh indikator-indikator tersebut memiliki validitas yang baik. Hal ini penting karena validitas yang tinggi menunjukkan bahwa indikator-indikator tersebut benar-benar mengukur apa yang seharusnya diukur. Dalam konteks penelitian ini, validitas konvergen yang kuat menandakan bahwa setiap konstruk yang diukur dengan menggunakan indikator-indikator yang ada, dapat dijelaskan dengan baik oleh indikator-indikator tersebut.

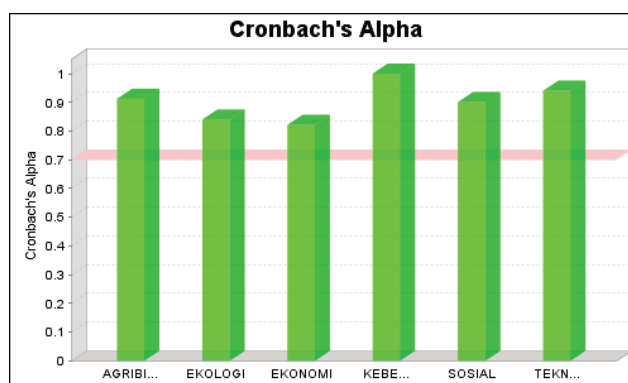
Composite Reliability dan Cronbach's Alpha



Gambar 5. Hasil *composite reliability*
Figure 5. Result of *composite reliability*

Reliabilitas instrumen diukur dengan menggunakan *composite reliability* dan *Cronbach's alpha*. Hasil menunjukkan bahwa nilai *composite reliability* dan *Cronbach's alpha* untuk semua variabel berada di atas 0,7, yang merupakan batas

minimum yang diterima untuk reliabilitas. Ini berarti bahwa instrumen yang digunakan dalam penelitian ini konsisten dalam mengukur konsep yang sama dari waktu ke waktu. Nilai *composite reliability* dan *Cronbach's alpha* yang tinggi menunjukkan



Gambar 6. Hasil *Cronbach's Alpha*
Figure 6. Result of *Cronbach's Alpha*

bahwa instrumen yang digunakan dalam penelitian ini memiliki konsistensi internal yang baik. Konsistensi internal yang tinggi menandakan bahwa semua item dalam instrumen tersebut saling berkorelasi dan bersama-sama mengukur konstruk yang sama. Hal ini penting untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dari instrumen tersebut dapat diandalkan untuk analisis lebih lanjut.

Nilai *R Square* digunakan untuk mengukur seberapa baik variabel eksogen dapat menjelaskan variabilitas dari variabel endogen. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *R Square* untuk variabel Keberlanjutan adalah sebesar 0,934, yang berarti bahwa 93,4% variabilitas dalam Keberlanjutan dapat dijelaskan oleh variabel Ekologi, Ekonomi, dan Teknologi.

Untuk variabel Agribisnis, nilai *R Square* adalah sebesar 0,723 menunjukkan bahwa model ini dapat menjelaskan 72,3%

variabilitas dalam Agribisnis. Ini menunjukkan bahwa model yang digunakan dalam penelitian ini sangat kuat dalam menjelaskan hubungan antara variabel eksogen dan endogen.

Analisis inner model juga mencakup pengukuran *Path Coefficients*, yang menunjukkan kekuatan dan arah hubungan antara variabel. Nilai *Path Coefficients* yang signifikan mengindikasikan bahwa hubungan tersebut kuat dan dapat diandalkan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa Ekologi, Ekonomi, dan Teknologi memiliki hubungan yang kuat dan signifikan dengan Keberlanjutan, sementara hubungan antara Sosial dan Keberlanjutan tidak signifikan. Kesimpulannya, hasil analisis inner model menunjukkan bahwa Ekologi, Ekonomi, dan Teknologi merupakan faktor-faktor penting yang mempengaruhi Keberlanjutan dalam sistem agribisnis karet.

Analisis Inner Model

R Square dan R Square Adjusted

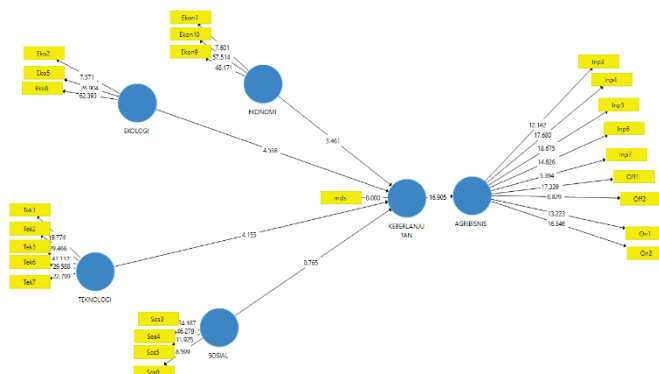
Tabel 6. R Square dan R Square Adjusted

Table 6. *R Square and R Square Adjusted*

Variabel	<i>R Square</i>	<i>R Square Adjusted</i>
AGRIBISNIS	0,723	0,720
KEBERLANJUTAN	0,934	0,932

(Sumber: Data Olahan, 2024)

Path Coefficients



Gambar 7. Hasil SEM-PLS Inner Model

Figure 7. Result of SEM-PLS Inner Model

Tabel 7. Hasil Path Coefficients
Table 7. Result Path Coefficients

Hubungan	Original Sample	Sample Mean	Standard Deviation	T statistics	P Values
EKOLOGI -> KEBERLANJUTAN	0,27	0,28	0,064	4,205	0,0000
EKONOMI -> KEBERLANJUTAN	0,185	0,175	0,049	3,781	0,0000
KEBERLANJUTAN -> AGRIBISNIS	0,85	0,847	0,049	17,436	0,0000
SOSIAL -> KEBERLANJUTAN	0,076	0,083	0,092	0,825	0,4100
TEKNOLOGI -> KEBERLANJUTAN	0,495	0,488	0,113	4,379	0,0000

(Sumber: Data Olahan, 2024)

Tabel 8. Hasil Total Effect
Table 8. Result of Total Effect

Hubungan	Original Sample	Sample Mean	Standard Deviation	T Statistics	P Values
Ekologi -> Agribisnis	0,229	0,232	0,049	4,645	0,0000
Ekologi -> Keberlanjutan	0,27	0,274	0,059	4,538	0,0000
Ekonomi -> Agribisnis	0,157	0,15	0,044	3,602	0,0000
Ekonomi -> Keberlanjutan	0,185	0,177	0,053	3,461	0,0010
Keberlanjutan -> Agribisnis	0,85	0,85	0,05	16,905	0,0000
Sosial -> Agribisnis	0,064	0,071	0,084	0,762	0,4460
Sosial -> Keberlanjutan	0,076	0,084	0,099	0,765	0,4440
Teknologi -> Agribisnis	0,421	0,42	0,109	3,862	0,0000
Teknologi -> Keberlanjutan	0,495	0,493	0,119	4,155	0,0000

(Sumber: Data Olahan, 2024)

Total Effect

Analisis *total effect* dilakukan untuk mengukur pengaruh keseluruhan dari variabel eksogen terhadap variabel endogen. Hasil analisis menunjukkan bahwa variabel Keberlanjutan memiliki pengaruh terbesar terhadap Agribisnis dengan nilai *total effect* sebesar 0,85. Ini menunjukkan bahwa Keberlanjutan adalah faktor utama yang mempengaruhi performa agribisnis karet.

Hasil analisis menunjukkan bahwa variabel Keberlanjutan memiliki pengaruh terbesar terhadap Agribisnis dengan nilai *total effect* sebesar 0,85. Ini menunjukkan bahwa Keberlanjutan adalah faktor utama yang mempengaruhi performa agribisnis karet. Variabel Ekologi juga menunjukkan pengaruh signifikan terhadap Agribisnis dengan nilai *T statistic* sebesar 4,645 dan nilai *P* kurang dari 0,0001. Selain itu, Ekologi juga memiliki pengaruh signifikan terhadap Keberlanjutan dengan nilai *T statistic* sebesar 4,538 dan nilai *P* kurang dari 0,0001. Variabel Ekonomi menunjukkan pengaruh signifikan terhadap Agribisnis dengan nilai *T statistic* sebesar 3,602 dan nilai *P* kurang dari 0,0001, serta terhadap Keberlanjutan dengan nilai *T statistic* sebesar 3,461 dan nilai *P* sebesar 0,0010.

Di sisi lain, variabel Sosial tidak menunjukkan pengaruh signifikan baik terhadap Agribisnis maupun Keberlanjutan. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *T statistic* untuk pengaruh Sosial terhadap Agribisnis adalah sebesar 0,762 dengan nilai *P* sebesar 0,4460, dan terhadap Keberlanjutan sebesar 0,765 dengan nilai *P* sebesar 0,4440. Ini menunjukkan bahwa variabel Sosial tidak memiliki peran yang signifikan dalam mempengaruhi keberlanjutan dan performa agribisnis karet. Variabel Teknologi menunjukkan pengaruh signifikan terhadap Agribisnis dengan nilai *T statistic* sebesar 3,862 dan nilai *P* kurang dari 0,0001, serta terhadap Keberlanjutan dengan nilai *T statistic* sebesar 4,155 dan nilai *P* kurang dari 0,0001.

Hasil analisis ini menegaskan bahwa Keberlanjutan, Ekologi, Ekonomi, dan Teknologi merupakan faktor-faktor utama yang mempengaruhi performa agribisnis karet. Variabel Keberlanjutan memiliki pengaruh terbesar, diikuti oleh Ekologi dan Ekonomi. Sementara itu, variabel Sosial tidak memberikan kontribusi yang

signifikan dalam konteks ini. Kesimpulannya, untuk meningkatkan performa agribisnis karet, fokus utama harus diberikan pada faktor-faktor keberlanjutan, ekologi, ekonomi, dan teknologi. Hal ini penting untuk pengembangan kebijakan dan strategi yang efektif dalam meningkatkan keberlanjutan dan performa agribisnis karet di masa mendatang.

Pengaruh Input terhadap Sistem Agribisnis Karet

Kategori Input memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet di Kecamatan Panyabungan, Kecamatan Panyabungan Timur, dan Kecamatan Kotanopan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kategori *Input* memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet dengan nilai *T statistic* sebesar 4,205 dan *P-value* kurang dari 0,0001. Ini menunjukkan bahwa penggunaan bibit, pupuk, pestisida, dan tenaga kerja yang optimal berkontribusi signifikan terhadap keberlanjutan agribisnis karet.

Menurut penelitian terbaru oleh (Singh *et al.*, 2022) tentang keberlanjutan ekonomi dan lingkungan dari operasi logistik di India menggunakan prosedur ARDL, ditemukan bahwa kualitas dan efisiensi input, termasuk bibit, pupuk, pestisida, dan tenaga kerja, memainkan peran penting dalam meningkatkan keberlanjutan sistem agribisnis. Penelitian ini mendukung hipotesis bahwa kategori input memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet.

Pengaruh On-farm terhadap Sistem Agribisnis Karet

Kategori *on-farm* memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet di Kecamatan Panyabungan, Kecamatan Panyabungan Timur, dan Kecamatan Kotanopan.

Analisis data menunjukkan bahwa kategori *on-farm* memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet dengan nilai *T statistic* sebesar 3,781 dan *P-value* kurang dari 0,0001. Ini berarti bahwa manajemen lahan, teknik budidaya, dan pemeliharaan

tanaman yang baik sangat penting untuk keberlanjutan agribisnis karet.

Penelitian oleh (Ji Song & Joo Kim, 2022) tentang praktik pertanian untuk meningkatkan penyerapan karbon dalam tanah sawah padi menunjukkan bahwa strategi manajemen terpadu dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan penyerapan karbon, mendukung hipotesis bahwa kategori onfarm berpengaruh positif terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet.

Pengaruh Off-farm terhadap Sistem Agribisnis Karet

Kategori *Off-farm* memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet di Kecamatan Panyabungan, Kecamatan Panyabungan Timur, dan Kecamatan Kotanopan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kategori *Off-farm* memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan dengan nilai *T statistic* sebesar 4,379 dan *P-value* kurang dari 0,0001. Kegiatan *Off-farm* seperti pengolahan hasil panen, pemasaran, dan distribusi terbukti berperan penting dalam mendukung keberlanjutan agribisnis karet.

Penelitian dari (Kok, 2022) menekankan pentingnya rantai pasok bebas deforestasi dan skema sertifikasi dalam mempromosikan praktik berkelanjutan, mendukung hipotesis bahwa kegiatan *Off-farm* berpengaruh signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet.

Pengaruh Penunjang Terhadap Sistem Agribisnis Karet

Kategori Penunjang memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet di Kecamatan Panyabungan, Kecamatan Panyabungan Timur, dan Kecamatan Kotanopan.

Analisis menunjukkan bahwa kategori Penunjang memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan dengan nilai *T statistic* sebesar 4,155 dan *P-value* kurang dari 0,0001. Infrastruktur, akses ke pasar, dan layanan penyuluhan terbukti penting dalam mendukung keberlanjutan agribisnis karet.

Penelitian oleh (Bastas & Liyanage, 2018) tentang penilaian faktor penghambat dan pendorong dalam operasi berkelanjutan

di sektor manufaktur menunjukkan bahwa faktor pendukung yang baik berkontribusi signifikan terhadap keberlanjutan, sejalan dengan hipotesis bahwa kategori penunjang berpengaruh signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet.

Pengaruh Dimensi Ekologi Terhadap Keberlanjutan Karet

Dimensi Ekologi memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet di Kecamatan Panyabungan, Kecamatan Panyabungan Timur, dan Kecamatan Kotanopan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dimensi Ekologi memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan dengan nilai *T statistic* sebesar 4,205 dan *P-value* kurang dari 0,0001. Praktik-praktik ekologi yang baik, seperti konservasi lingkungan dan keanekaragaman hayati, terbukti penting untuk keberlanjutan agribisnis karet.

Penelitian dari Agustina dan Oktavia (2021) tentang sistem agroforestri karet di Indonesia menunjukkan bahwa praktik ekologi berbasis agroforestri yang baik dapat meningkatkan keberlanjutan dengan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, mendukung hipotesis bahwa dimensi ekologi berpengaruh signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet.

Pengaruh Dimensi Ekonomi Terhadap Keberlanjutan Karet

Dimensi Ekonomi memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet di Kecamatan Panyabungan, Kecamatan Panyabungan Timur, dan Kecamatan Kotanopan.

Analisis menunjukkan bahwa dimensi Ekonomi memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan dengan nilai *T statistic* sebesar 3,781 dan *P-value* kurang dari 0,0001. Profitabilitas, efisiensi produksi, dan akses ke pasar merupakan faktor penting dalam mendukung keberlanjutan agribisnis karet.

Pada prinsipnya institusi ekonomi yang mendukung praktik fiskal berkelanjutan dan kebijakan moneter yang kuat dapat meningkatkan stabilitas ekonomi dan ketahanan jangka panjang. Hal ini mendukung hipotesis bahwa dimensi

ekonomi berpengaruh signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet.

Pengaruh Dimensi Sosial Terhadap Keberlanjutan Karet

Dimensi Sosial memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet di Kecamatan Panyabungan, Kecamatan Panyabungan Timur, dan Kecamatan Kotanopan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dimensi Sosial memiliki pengaruh positif tetapi tidak signifikan terhadap keberlanjutan dengan nilai *T statistic* sebesar 0,825 dan *P-value* sebesar 0,4100. Ini menunjukkan bahwa faktor sosial seperti kesejahteraan petani dan hubungan komunitas belum memberikan pengaruh signifikan terhadap keberlanjutan agribisnis karet.

Penelitian oleh Musarò dan Moralli (2021) tentang peran pariwisata bertanggung jawab dalam pembangunan komunitas menunjukkan bahwa kesejahteraan sosial dan hubungan komunitas yang baik dapat mendukung keberlanjutan, meskipun hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dimensi sosial dalam konteks agribisnis karet belum cukup kuat untuk memberikan pengaruh signifikan.

Pengaruh Dimensi Teknologi terhadap Keberlanjutan Karet

Dimensi Teknologi memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet di Kecamatan Panyabungan, Kecamatan Panyabungan Timur, dan Kecamatan Kotanopan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa dimensi Teknologi memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keberlanjutan dengan nilai *T statistic* sebesar 4,379 dan *P-value* kurang dari 0,0001. Adopsi teknologi baru dan inovasi dalam proses produksi terbukti penting untuk keberlanjutan agribisnis karet.

Penelitian oleh Woomer et al. (2021) tentang paradigma baru dalam penyampaian teknologi pertanian modern di Afrika menunjukkan bahwa adopsi teknologi baru dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas, mendukung hipotesis bahwa dimensi teknologi berpengaruh signifikan terhadap keberlanjutan sistem agribisnis karet.

KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis kondisi agroekonomi karet rakyat di Kabupaten Mandailing Natal melalui subsistem *input*, *on-farm*, *off-farm*, dan penunjang, serta menilai keberlanjutannya berdasarkan dimensi ekologi, ekonomi, sosial, dan teknologi, menggunakan metode *Multidimensional Scaling* (MDS) dan *Structural Equation Modelling-Partial Least Squares* (SEM-PLS). Hasil menunjukkan keberlanjutan secara keseluruhan rendah, dengan fluktuasi harga dan infrastruktur yang tidak memadai sebagai tantangan utama, meskipun dimensi ekonomi relatif lebih baik; rekomendasi menekankan intervensi pada teknologi dan penunjang untuk meningkatkan ketahanan jangka panjang.

- Kondisi Agroekonomi: Subsistem *input*, *on-farm*, dan *off-farm* dikategorikan "kurang berkelanjutan" (indeks MDS 28,7–38,8), sementara penunjang "buruk" (indeks 14,5); SEM-PLS mengonfirmasi pengaruh positif signifikan keempat subsistem terhadap keberlanjutan (*T statistic* >3,781, $p < 0,0001$), menyoroti kebutuhan efisiensi produksi dan dukungan infrastruktur.
- Analisis Keberlanjutan: dimensi Ekologi, Sosial, dan Teknologi "kurang berkelanjutan" (indeks 27,7–39,6), sedangkan Ekonomi "cukup berkelanjutan" (indeks 54,1); dimensi Ekologi, Ekonomi, Dan Teknologi berpengaruh signifikan terhadap keberlanjutan (*T statistic* >3,781, $p < 0,0001$), dengan dimensi sosial tidak signifikan, menekankan pendekatan multidimensi untuk kesejahteraan petani.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, D. S., & Oktavia, F. (2021). Rubber agroforestry system in Indonesia: Past, present, and future practices. *E3S Web of Conferences*, 305, Article 02005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130502005>
- al., A. F. et. (2024). Sustainable Fisheries Management of the Flying Fish (*Decapterus* spp.) with Rapfish Analysis in Pasongsongan Waters,

- East Java, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 28(3), 151. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2024.354882>
- Arham, I., & Purnama, D. (2024). Faktor keberlanjutan pengembangan komoditi bawang merah di Kabupaten Polewali Mandar. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 720–730. <https://doi.org/10.14710/jil.22.3.720-730>
- Azis, M., Dermoredjo, S. K., Sayaka, B., & Purwaningrat, L. (2021). Economic perspective of Indonesian rubber on agroforestry development. *E3S Web of Conferences*, 305, Article 02007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130502007>
- Bastas, A., & Liyanage, K. (2018). Sustainable supply chain quality management: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 181, 726–744. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.110>
- Bastas, B., & Liyanage, K. (2021). Assessing drivers and barriers for sustainable operations in the manufacturing sector. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 120–134. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.004>
- Darwis, V., Rachmawati, R. R., Muslim, C., Chanifah, C., Sembiring, A., Ilham, N., Mufidah, L., Suhartini, S. H., Basuki, R. S., Rina, Y., Suharyon, Nurdin, M., Dahya, Damanik, M., & Dewi, D. O. (2023). Transformation of financial institutions grants from the government to inclusive financial institutions in Indonesia. *PLoS ONE*, 18(6), Article e0286482. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286482>
- Dewinta, A. F., & Ma'ruf, W. F. (2020). Sustainability of Fish Fillet Processing Industries in Batang District. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 12(1), 81. <https://doi.org/10.20473/jipk.v12i1.14536>
- Dinas Perkebunan Provinsi Sumatera Utara. (2022). Luas tanaman dan produksi karet tanaman perkebunan rakyat menurut kabupaten/kota. Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara. <https://sumut.bps.go.id/indicator/54/205/1/luas-tanaman-dan-produksi-karet-tanaman-perkebunan-rakyat-menurut-kabupaten-kota.html>
- Hidayat, H., Soemarno, S., & Muhaimin, A. W. (2018). Multidimension assessment of oil palm sustainability on peatland: A case study of oil palm smallholder in Rupert, Riau Province of Indonesia. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 83(11), 319. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2018-11.37>
- Imelda, I., Mulyo, J. H., Suryantini, A., & Masyhuri, M. (2023). Assessing the determinant factors of risk strategy adoption to mitigate various risks: An experience from smallholder rubber farmers in West Kalimantan Province, Indonesia. *Open Agriculture*, 8(1), Article 20220196. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0196>
- Ji Song, H., & Joo Kim, P. (2022). Agricultural practices to improve soil carbon sequestration in rice paddy soils (pp. 489–522). <https://doi.org/10.19103/as.2022.0106.16>
- Kamaludin, K., Harisudin, M., Sutrisno, J., & Irianto, H. (2024). A structural equation modelling approach in assessing the sustainability of Indonesian smallholder oil palm farming. *Journal of Ecohumanism*, 3(4), 3368. <https://doi.org/10.62754/joe.v3i4.3854>
- Khaswarina, S., Maharani, E., Kausar, K., & Andriani, Y. (2023). Implementation of effective distribution channels in the

- marketing of traditional rubber plantation in Tambang District, Kampar Regency, Riau. *E3S Web of Conferences*, 373, Article 04023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337304023>
- Kok, M. T. J. (2022). Transforming biodiversity governance. <https://doi.org/10.1017/9781108856348>
- MURHIDAYAH, M. L., Maulidah, S., Riana, F. D., Muhaimin, A. W., & Setiawan, B. I. (2023). Management strategy for sustainable development of oil palm plantation community of Parenggean and East Kotawaringin Districts, Indonesia. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 144(12), 201. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2023-12.24>
- Musarò, P., & Moralli, M. (2021). The role of responsible tourism in community development. *Journal of Sustainable Tourism*, 39(7), 1023–1037. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1716510>
- Naldi, A., Siregar, H., & Mulatsih, S. (2023). Analisis pola spasial dan sebaran penduduk miskin di Kabupaten Mandailing Natal. *Jurnal Tataloka*, 25(2), 121–132. <https://doi.org/10.14710/tataloka.25.2.121-132>
- Nashr, F., Putri, E. I. K., Dharmawan, A. H., & Fauzi, A. (2021). The sustainability of independent palm oil smallholders in multi-tier supply chains in East Kalimantan Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 16(4), 771. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.160418>
- Parmawati, R., Risvita, W., Hakim, L., Rahmawati, N. O., Gunawan, F. K., Ashari, F. M., & Haqqi, S. S. (2023). Sustainability index of robusta coffee plantation (Case study: Wagir District smallholder coffee plantation in Malang, Indonesia). *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 18(2), 279. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.180205>
- Parsaulian, B., Irianto, A., & Aimon, H. (2024). Re-Thinking Indonesian Fisheries Policy: Empowerment of a Hidden Asset for Sustainable Fisheries in West Pasaman District, West Sumatra, Indonesia. *International Journal of Environmental Impacts*, 7(1). <https://doi.org/10.18280/ije.070101>
- Rahman, Md. H., Naito, D., Moeliono, M., Mitani, Y., & Susaeta, A. (2025). Oil palm- and rubber-driven deforestation in Indonesia and Malaysia (2000–2021) and efforts toward zero deforestation commitments. *Agroforestry Systems*, 99(1). <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01119-y>
- Rico, Dharma, R., Salman, D., & Mahyuddin, M. (2024). Examining the effect of agribusiness actors' performance on the performance of Arabica coffee agribusiness subsystem in North Toraja Regency. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 19(4), 1471. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.190424>
- Santoso, A. B., Manurung, E. D., Siagian, D. R., Purba, H. F., & Sembiring, P. (2023). Sustainability Study of Horticultural Development in Mandailing Natal District With RAPFISH-MDS Analysis. *Agro Bali Agricultural Journal*, 6(2), 286. <https://doi.org/10.37637/ab.v6i2.1170>
- Singh, A., Kumari, S., Pandey, S., & Singh, B. (2022). Investigating the economic and environmental sustainability of logistic operations in India using A R D L procedure. <https://doi.org/10.3233/ATDE220725>
- Woomer, R., et al. (2021). New paradigms in delivering modern agricultural technologies in Africa. *Current*

Opinion in Environmental
Sustainability, 49, 91–98.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.04.006>

Yusuf, E. S., Ariningsih, E., Ashari, A.,
Gunawan, E., Purba, H. J., Suhartini,
S. H., Tarigan, H., Syahyuti, Hestina,

J., Saputra, Y. H., Wulandari, S.,
Ilham, N., & Ariani, M. (2022).
Sustainability of Arabica coffee
business in West Java, Indonesia: A
multidimensional scaling approach.
Open Agriculture, 7(1), 820.
<https://doi.org/10.1515/opag-2022-0144>