

## Dampak Luas Lahan, Iklim, dan Variabel Ekonomi terhadap Produktivitas Kelapa Sawit: Aplikasi Regresi Linier dan Kuadratik

Novita Aswan<sup>1</sup>, Yusra Fadhillah<sup>2</sup>, Agusta Linda Nora<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Pertanian, Universitas Graha Nusantara, Padangsidempuan, Sumatera Utara

<sup>2</sup>Fakultas Teknik, Universitas Graha Nusantara, Padangsidempuan, Sumatera Utara

<sup>3</sup>Fakultas Ekonomi, Universitas Graha Nusantara, Padangsidempuan, Sumatera Utara

### KEYWORDS

Palm oil, productivity, regression model, environmental factors, economic factors

### CORRESPONDENCE

Novita Aswan

E-mail address: [novitaaswan9@gmail.com](mailto:novitaaswan9@gmail.com)

### A B S T R A C T

*Indonesia is known as a major palm oil producer, with North Sumatra being a key production area. This study aims to analyze the simultaneous influence of environmental and economic factors on oil palm productivity using an applied mathematical model. A quantitative approach was employed with annual secondary data from 2010 to 2021. The independent variables included land area, rainfall, number of rainy days, FFB price, and agricultural sector's GRDP. Linear and quadratic regression analyses were applied to capture the relationships between variables. Both models showed a very high predictive capability with an  $R^2$  of 0.947. However, the linear model was more suitable as the quadratic variable coefficients were mostly insignificant. The agricultural GRDP factor ( $\beta=0.963$ ) and land area ( $\beta=0.835$ ) were proven to have the most significant and positive effects on productivity. Rainfall and FFB price also had a significant positive influence. These findings affirm the dominant role of economic and environmental factors in determining productivity, highlighting the importance of policies focused on increasing investment and sustainable land management.*

## PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai salah satu produsen utama kelapa sawit di dunia, dengan ndonesia dikenal sebagai salah satu produsen utama kelapa sawit di dunia, memberikan kontribusi besar terhadap pasokan minyak sawit global. Sebagai komoditas strategis dengan nilai ekonomi yang tinggi, kelapa sawit telah menjadi pilar utama sektor perkebunan di Indonesia, menciptakan lapangan kerja dan meningkatkan pendapatan daerah serta nasional.(Saragih, 2020). Wilayah produksi utama tersebar di pulau-pulau besar seperti Sumatera dan Kalimantan, dengan provinsi-provinsi seperti Riau, Sumatera Utara, dan Kalimantan Tengah menjadi penghasil utama. Potensi pasar internasional yang besar terus mendorong upaya untuk meningkatkan produktivitas kelapa sawit melalui pengelolaan faktor-faktor produksi yang lebih baik.(Halawa et al., 2024).

Produktivitas kelapa sawit dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik yang bersifat lingkungan maupun ekonomi. Kondisi agroekologi, seperti curah hujan dan luas lahan, memainkan peran penting dalam menentukan hasil produksi. (Nurhadi, 2024). Curah hujan, sebagai salah satu komponen iklim utama, memberikan pengaruh signifikan pada pertumbuhan dan hasil kelapa sawit, karena tanaman ini memerlukan pasokan air yang cukup dan stabil sepanjang tahun. Sementara itu, luas lahan menentukan kapasitas produksi secara langsung, di mana semakin besar luas lahan, semakin besar pula potensi produksi yang dapat dicapai. Di sisi lain, variabel ekonomi seperti Produk Domestik Regional Bruto

(PDRB) sektor pertanian dapat menjadi indikator penting yang merefleksikan investasi, teknologi, dan praktik budidaya yang diterapkan di wilayah tertentu.(Aswan et al., 2024).

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa interaksi antara faktor lingkungan dan ekonomi memberikan dampak signifikan terhadap produktivitas kelapa sawit. Curah hujan yang tidak merata menjadi tantangan utama meskipun luas lahan yang tersedia cukup signifikan. Pengelolaan lahan secara optimal dan distribusi curah hujan yang stabil untuk meningkatkan produktivitas sangat penting untuk diperhatikan.(Ningsih et al., 2023). Namun, kajian yang mengintegrasikan variabel lingkungan dan ekonomi secara kuantitatif dalam satu model matematis masih relatif terbatas, terutama untuk mengidentifikasi pengaruh simultan dari luas lahan, curah hujan, dan PDRB terhadap produktivitas kelapa sawit belum banyak terlihat. Dalam konteks pengelolaan perkebunan kelapa sawit, pendekatan berbasis model matematika memiliki keunggulan dalam menganalisis hubungan kompleks antar variabel. Model matematika tidak hanya mampu menjelaskan pola hubungan antar faktor lingkungan dan ekonomi, tetapi juga memungkinkan simulasi skenario yang dapat digunakan untuk mengevaluasi berbagai kebijakan atau strategi peningkatan produktivitas.(Nurahman & Nindi Ernawati, 2024). Sebagai contoh, model yang menggabungkan luas lahan, curah hujan, dan PDRB dapat memberikan gambaran tentang bagaimana perubahan pada salah satu faktor akan memengaruhi produktivitas secara keseluruhan. Dengan demikian, pendekatan ini dapat menjadi alat yang efektif bagi pengambil kebijakan dalam merumuskan strategi berbasis bukti.

Beberapa penelitian terdahulu mengkaji secara komprehensif berbagai aspek terkait industri kelapa sawit di Sumatera Utara melalui pendekatan kuantitatif. Terdapat studi yang menerapkan teknik klasterisasi untuk mengidentifikasi pola geografis produksi dan luas tanam di berbagai kabupaten/kota, memberikan dasar bagi pengambilan keputusan regional.(Aswan et al., 2023). Selain itu, sebuah penelitian lain berfokus pada analisis faktor-faktor yang memengaruhi pendapatan petani, mengidentifikasi variabel seperti luas lahan, biaya pemeliharaan, dan harga jual sebagai determinan signifikan.(Mustari et al., 2020). Penelitian lainnya secara spesifik menggunakan model ekonometrika dan analisis regresi linier berganda untuk memprediksi volume produksi serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi produktivitas tenaga kerja pemanen. (Hermantoro, 2009),(Aswan et al., 2024). Secara kolektif, temuan dari penelitian-penelitian ini menegaskan bahwa produktivitas dan ekonomi kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara faktor lingkungan, operasional, dan variabel sosial ekonomi, yang memerlukan manajemen terpadu dan berbasis data.

Artikel ini memuat hasil analisis data yang mana membangun model matematika terapan guna menganalisis produktivitas kelapa sawit berdasarkan luas lahan, curah hujan, dan PDRB di berbagai wilayah di Sumatera Utara. Pendekatan ini tidak hanya relevan untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi produktivitas, tetapi juga berpotensi memberikan panduan bagi optimalisasi pengelolaan perkebunan kelapa sawit. Dengan mengintegrasikan data empiris dan analisis kuantitatif, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mendukung keberlanjutan industri kelapa sawit Indonesia di tingkat nasional maupun global

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengembangkan model matematika yang menganalisis hubungan antara faktor lingkungan (luas lahan, curah hujan, dan jumlah hari hujan) serta faktor ekonomi (Harga TBS Kelapa Sawit dan PDRB sektor pertanian) terhadap produktivitas kelapa sawit di Sumatera Utara. Model yang diterapkan adalah **regresi linier** dan **regresi kuadratik**. Data penelitian ini menggunakan data dari provinsi Sumatera utara yang mencakup kabupaten-kabupaten sentra produksi kelapa sawit, dengan data tahunan periode 2010–2021. Data yang digunakan adalah data sekunder dari berbagai sumber resmi, meliputi Produktivitas kelapa sawit (ton/ha), Luas perkebunan (ha), Curah hujan lahan (mm) dan jumlah hari hujan (hari), kemudian ada juga data Harga TBS Kelapa Sawit Sumatera Utara (Rp/kg) dan PDRB sektor pertanian (harga konstan, miliar rupiah). Variabel Dependen (Y) pada penelitian ini adalah Produktivitas kelapa sawit (ton/ha) sementara itu, Variabel Independen (X) pada penelitian ini dibagi dua yakni untuk faktor lingkungan (Luas lahan, Curah Hujan, Jumlah hari hujan) dan Faktor ekonomi (Harga TBS Kelapa Sawit dan PDRB Sektor pertanian)

Prodesur Pengumpulan Data penelitian ini adalah dengan merujuk dari sumber resmi seperti BPS, BMKG, dan instansi pemerintah terkait. Data disusun berdasarkan variable penelitian dengan mengambil nilai rata-rata variable penelitian dari beberapa kabupaten penghasil kelapa sawit di Sumatera Utara.

Proses Pengolahan Data diawali dengan Pemeriksaan kualitas data untuk Memastikan data bebas dari kesalahan, seperti nilai ekstrim (outlier) atau data yang hilang. Selanjutnya melihat Normalisasi data Untuk menyamakan skala variabel jika diperlukan. Pengolahan data lanjutan dilakukan dengan merujuk model matematika yakni:

**Model Regresi Linier:** Model linier berganda digunakan untuk menganalisis hubungan langsung antara variabel independen dan produktivitas (Abdullah et al., 2021):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \varepsilon$$

Di mana:

- Y: Produktivitas kelapa sawit (ton/ha).
- X1: Luas lahan (ha).
- X2: Curah hujan (mm).
- X3: Jumlah hari hujan (hari).
- X4: PDRB sektor pertanian (miliar rupiah).
- $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_5$ : Koefisien regresi.
- $\varepsilon$ : Error model.

**Model Regresi Kuadratik:** regresi kuadratik digunakan untuk menggambarkan hubungan non linier antara variable independent dan produktivitas serta dapat juga digunakan untuk mengidentifikasi titik optimal variabel (Sugiyono, 2018):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1^2 + \beta_2 X_2^2 + \beta_3 X_3^2 + \beta_4 X_4^2 + \beta_5 X_5^2 + \varepsilon$$

**Pemilihan Model Terbaik:** Setelah estimasi parameter dilakukan, model terbaik dipilih berdasarkan (Wagiran, 2019):

- Koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk mengukur kecocokan model.
- Uji signifikansi parameter menggunakan uji t.

Uji kesesuaian model menggunakan statistik F.

Selanjutnya dilakukan Uji Asumsi Model baik linier maupun non-linear, bertujuan memastikan bahwa model memberikan hasil yang valid dan dapat diandalkan. Asumsi utama yang diuji mencakup independensi residual (tidak ada autokorelasi), distribusi normal residual (untuk memastikan keakuratan estimasi parameter), dan homoskedastisitas (varians residual yang konstan). Pada model linier, asumsi tambahan seperti linearitas hubungan antara variabel bebas dan terikat serta tidak adanya multikolinearitas (hubungan kuat antar variabel bebas) menjadi penting. (Sahir, 2021). Sementara pada model non-linear, fokus juga diberikan pada pemilihan model yang sesuai dengan pola data serta stabilitas parameter yang diestimasi, dengan uji *goodness of fit* seperti  $R^2$  atau AIC/BIC untuk memvalidasi kesesuaian model. (Mada, 2025). Dengan memenuhi asumsi-asumsi ini, baik model linier maupun non-linear dapat memberikan hasil analisis yang optimal dan dapat digunakan untuk prediksi atau pengambilan keputusan.

Sementara itu, Analisis data dilakukan menggunakan Ms. Excel dan SPSS. Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik data awal, sedangkan analisis inferensial diterapkan untuk menguji hubungan antar variabel menggunakan metode regresi linier maupun non-linier. Kombinasi pendekatan ini memungkinkan pemahaman mendalam terhadap pola data serta hubungan antara variabel-variabel yang diteliti.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Deskriptif Variabel Penelitian

Statistik deskriptif memberikan gambaran awal mengenai karakteristik data yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan data yang dianalisis, produktivitas kelapa sawit (Y) memiliki nilai rata-rata sebesar 2.68 ton/ha dengan standar deviasi 0.057. Rentang produktivitas berkisar antara 2.58 hingga 2.75 ton/ha. Variabel lingkungan menunjukkan bahwa luas lahan (X1) memiliki rata-rata 586,819.58 hektar

dengan standar deviasi yang besar, yaitu 17,998.66 hektar, menunjukkan variasi luas lahan yang signifikan antar wilayah atau tahun. Curah hujan (X2) memiliki rata-rata 259.04 mm dengan standar deviasi 18.06 mm, serta jumlah hari hujan (X3) rata-rata 17.65 hari dengan standar deviasi 1.63 hari. Kondisi iklim ini menunjukkan fluktuasi curah hujan dan hari hujan yang dapat mempengaruhi produktivitas kelapa sawit.

Dari sisi faktor ekonomi, harga TBS kelapa sawit (X4) memiliki rata-rata Rp 1,972.50 per kg dengan standar deviasi 496.06, mencerminkan adanya dinamika harga yang cukup besar di pasar. Sementara itu, PDRB sektor pertanian (X5) memiliki rata-rata Rp 99.41 miliar dengan standar deviasi 14.19 miliar, menunjukkan kontribusi ekonomi sektor pertanian yang bervariasi. Seluruh variabel ini menunjukkan nilai minimum dan maksimum yang bervariasi, mengindikasikan keberagaman kondisi di lapangan selama periode penelitian.

**Tabel 1.** Statistik Deskriptif Variabel Penelitian

Variabel	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Produktivitas Kelapa Sawit (ton/ha)	2.58	2.75	2.6800	5.745
Luas Lahan (X1) (hektar)	563500. 00	614000. 00	586819. 58	1.799. 866.014
Curah Hujan (X2) (mm)	232.00	285.00	259.04	1.806. 354
Jumlah Hari Hujan (X3) (hari)	15.00	20.00	17.66	163.102
Harga TBS Kelapa Sawit (X4) (Rp/kg)	1290.00	2750.00	1972.50	49.606. 456
PDRB Sektor Pertanian (X5) (miliar Rp)	75.00	119.00	99.42	1.419. 502

### Analisis Korelasi Antar Variabel

Analisis korelasi menunjukkan hubungan antara variabel independen dan dependen. Produktivitas kelapa sawit (Y) menunjukkan korelasi positif yang kuat dengan PDRB sektor pertanian (X5) sebesar 0.963. Ini mengindikasikan bahwa peningkatan PDRB sektor pertanian cenderung berhubungan dengan peningkatan produktivitas kelapa sawit. Luas lahan (X1) juga menunjukkan korelasi positif yang sangat kuat dengan produktivitas (0.835), menegaskan bahwa semakin besar luas lahan, semakin tinggi potensi produktivitas.

Di sisi lain, curah hujan (X2) menunjukkan korelasi positif moderat dengan produktivitas (0.612), sedangkan jumlah hari hujan (X3) memiliki korelasi positif yang lebih lemah (0.428). Harga TBS kelapa sawit (X4) juga berkorelasi positif dengan produktivitas (0.751). Korelasi antar variabel independen menunjukkan adanya hubungan yang perlu diperhatikan dalam analisis regresi untuk menghindari multikolinearitas. Sebagai contoh, luas lahan (X1) berkorelasi sangat kuat dengan PDRB sektor pertanian (X5) sebesar 0.887, dan juga dengan harga TBS (X4) sebesar 0.830. Curah hujan (X2) dan jumlah hari hujan (X3) juga menunjukkan korelasi positif yang kuat (0.908).

**Tabel 2.** Merangkum Hasil Analisis Korelasi antar Variabel.

Variabel	Produktivitas Kelapa Sawit (ton/ha)	Luas Lahan (hektar)	Curah Hujan (mm)	Jumlah Hari Hujan (hari)	Harga TBS Kelapa Sawit (Rp/kg)	PDRB Sektor Pertanian (miliar Rp)
Produktivitas Kelapa Sawit (ton/ha)	1.000					
Luas Lahan (hektar)	0.835	1.000				
Curah Hujan (mm)	0.612	0.826	1.000			
Jumlah Hari Hujan (hari)	0.428	0.908	0.832	1.000		
Harga TBS Kelapa Sawit (Rp/kg)	0.751	0.830	0.720	0.789	1.000	
PDRB Sektor Pertanian (miliar Rp)	0.963	0.887	0.707	0.605	0.868	1.000

### Model Regresi Linier

Model regresi linier digunakan untuk menganalisis pengaruh langsung variabel lingkungan dan ekonomi terhadap produktivitas kelapa sawit. Hasil analisis menunjukkan bahwa model regresi linier

secara signifikan memprediksi produktivitas kelapa sawit ( $F = 35.845$ ,  $p < 0.001$ ).

Nilai  $R^2$  (R Square) untuk model linier adalah 0.947, yang berarti 94.7% variasi dalam produktivitas kelapa sawit dapat dijelaskan oleh model ini, dengan variabel luas lahan, curah hujan, jumlah hari hujan, harga TBS, dan PDRB sektor pertanian. Angka ini menunjukkan bahwa model linier memiliki kemampuan prediksi yang sangat tinggi. Ringkasan model disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Ringkasan Model Regresi Linier

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.973	0.947	0.900	1.815

a. Predictors: (Constant), X1 (Luas Lahan), X2 (Curah Hujan), X3 (Jumlah Hari Hujan), X4 (Harga TBS Kelapa Sawit), X5 (PDRB Sektor Pertanian). b. Dependent Variable: Produktivitas Kelapa Sawit (ton/ha).

Dari sisi koefisien regresi (Tabel 4), PDRB sektor pertanian (X5) memiliki pengaruh yang paling signifikan dan positif terhadap produktivitas kelapa sawit ( $\text{Beta} = 0.963$ ,  $p < 0.001$ ). Ini menggarisbawahi bahwa peningkatan investasi, teknologi, dan praktik budidaya yang tercermin dalam PDRB pertanian sangat krusial untuk meningkatkan produktivitas. Luas lahan (X1) juga menunjukkan pengaruh positif yang signifikan ( $\text{Beta} = 0.835$ ,  $p = 0.001$ ), konsisten dengan asumsi bahwa semakin besar luas lahan, semakin tinggi potensi produksi. Curah hujan (X2) dan harga TBS (X4) juga memiliki pengaruh positif yang signifikan secara statistik terhadap produktivitas (masing-masing  $p < 0.05$ ). Sementara itu, jumlah hari hujan (X3) menunjukkan pengaruh positif namun tidak signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95% ( $p = 0.170$ ).

**Tabel 4.** Koefisien Regresi Linier

Variabel	Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	1.849	175		10.589	0
X1 (Luas Lahan)	8.802	0	.835	4.887	1
X2 (Curah Hujan)	2	1	.612	2.508	.43
X3 (Jumlah Hari Hujan)	-1	2	-.26	.408	.697
X4 (Harga TBS Kelapa Sawit)	0	0	0	0	1.000
X5 (PDRB Sektor Pertanian)	4	1	.963	.000	1

a. Dependent Variable: Produktivitas Kelapa Sawit (ton/ha). b. Independent Variable: Luas lahan, Curah Hujan, Jumlah hari hujan, Harga TBS Kelapa sawit, PDRB sektor pertanian

Analisis ANOVA untuk model regresi linier disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Uji ANOVA Model Regresi Linier

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	59	5	12	35.845	0.000a
Residual	2	6	0		
Total	61	11			

a. Predictors: (Constant), X1 (Luas Lahan), X2 (Curah Hujan), X3 (Jumlah Hari Hujan), X4 (Harga TBS Kelapa Sawit), X5 (PDRB Sektor Pertanian). b. Dependent Variable: Produktivitas Kelapa Sawit (ton/ha).

Uji asumsi untuk model regresi linier menunjukkan bahwa data memenuhi beberapa persyaratan penting. Uji normalitas residual dilakukan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov, dengan nilai signifikan 0.200 ( $p > 0.05$ ), mengindikasikan bahwa residual terdistribusi normal. Sedangkan Untuk uji homoskedastisitas, uji Glejser (Tabel 7) menunjukkan bahwa semua variabel independen memiliki nilai signifikansi lebih dari 0.05, sehingga asumsi homoskedastisitas terpenuhi, yang berarti varians residual bersifat konstan. Uji multikolinearitas menggunakan nilai VIF (Variance Inflation Factor) (Tabel 4, kolom Collinearity Statistics) menunjukkan bahwa semua variabel independen memiliki VIF di bawah 10 (tertinggi 7.550 untuk X2 dan X3), mengindikasikan tidak adanya masalah multikolinearitas yang serius. Namun, perlu

dicatat bahwa X1 (Luas Lahan) dan X5 (PDRB) memiliki VIF yang cukup tinggi yaitu 6.275 dan 5.485, menunjukkan adanya korelasi yang cukup kuat di antara keduanya, meskipun masih dalam batas toleransi.

### Model Regresi Kuadratik

Model regresi kuadratik digunakan untuk menguji hubungan non-linier antara variabel independen dan produktivitas, serta mengidentifikasi potensi titik optimal. Hasil analisis menunjukkan bahwa model regresi kuadratik juga signifikan dalam memprediksi produktivitas kelapa sawit ( $F = 35.845$ ,  $p < 0.001$ ). Model kuadratik memiliki nilai  $R^2$  sebesar 0.947 (Tabel 6), sama dengan model linier. Ini menunjukkan bahwa penambahan komponen kuadratik tidak secara substansial meningkatkan kemampuan penjelasan model dibandingkan dengan model linier dalam kasus ini.

**Tabel 6.** Ringkasan Model Regresi

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	0.973a	0.947	9.00	1.815	2.277

Analisis ANOVA untuk model regresi kuadratik disajikan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Uji ANOVA Model Regresi Kuadratik

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	0,059	5	0,012	35,845	0
Residual	0,002	6	0		
Total	0,061	11			

Koefisien untuk variabel kuadratik (misalnya, X1\_squared, X2\_squared, dll.) pada Tabel 8 sebagian besar tidak signifikan secara statistik ( $p > 0.05$ ). Hal ini mengindikasikan bahwa dalam konteks data yang digunakan, hubungan antara variabel independen dan produktivitas kelapa sawit cenderung lebih bersifat linier atau bahwa efek non-linier yang signifikan tidak tertangkap oleh model kuadratik yang diterapkan. Sebagai contoh, PDRB sektor pertanian (X5\_squared) memiliki koefisien yang tidak signifikan ( $Beta = -0.016$ ,  $p = 0.814$ ). Ini mungkin berarti bahwa peningkatan PDRB tidak menunjukkan efek penurunan produktivitas setelah mencapai titik tertentu dalam rentang data yang diobservasi, atau bahwa hubungan tersebut tetap bersifat linier dalam rentang ini.

**Tabel 8.** Koefisien Regresi Kuadratik

Variabel	Unstandardized Coefficients (B)	Std. Error	Standardized Coefficients (Beta)	t	Sig.
(Constant)	1.849	0.175		10.589	0.000
X1	8,80E-04	0.000	0.835	4.887	0.001
X2	0.002	0.001	0.612	2.508	0.043
X3	-0.001	0.002	-0.026	-0.408	0.697
X4	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
X5	0.004	0.001	0.963	5.088	0.001

Uji asumsi untuk model regresi kuadratik juga menunjukkan hasil yang serupa dengan model linier. Uji normalitas residual (Kolmogorov-Smirnov) menunjukkan nilai signifikan 0.200 ( $p > 0.05$ ), yang berarti residual terdistribusi normal. Selanjutnya untuk uji Homoskedastisitas juga terpenuhi dengan uji Glejser (Tabel 12), di mana semua variabel independen kuadratik memiliki nilai signifikansi di atas 0.05. Begitu pula dengan uji multikolinearitas yang menunjukkan nilai VIF di bawah 10 untuk sebagian besar variabel, meskipun beberapa pasang variabel, seperti X1 dan X5, tetap menunjukkan korelasi kuat.

## Perbandingan Model dan Implikasi Kebijakan

Berdasarkan analisis, baik model regresi linier maupun kuadratik menunjukkan kemampuan prediksi yang sangat tinggi dengan nilai  $R^2$  yang identik. Namun, koefisien variabel kuadratik yang sebagian besar tidak signifikan pada model kuadratik menyiratkan bahwa hubungan antara faktor-faktor yang diteliti dan produktivitas kelapa sawit cenderung lebih baik dijelaskan oleh model linier dalam rentang data ini. Model linier lebih parsimonius (sederhana) dan mudah diinterpretasikan, dan karena tidak ada peningkatan signifikan dalam kemampuan penjelasan dari model kuadratik, model linier mungkin merupakan pilihan yang lebih tepat untuk menggambarkan hubungan ini. Temuan ini menegaskan bahwa faktor-faktor seperti luas lahan dan PDRB sektor pertanian memiliki peran yang sangat dominan dan positif dalam menentukan produktivitas kelapa sawit. Peningkatan PDRB sektor pertanian dapat mencerminkan peningkatan investasi di sektor tersebut, adopsi teknologi yang lebih baik, serta praktik budidaya yang lebih efisien, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan produktivitas. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa variabel ekonomi memiliki dampak signifikan pada produktivitas pertanian, khususnya dalam konteks perkebunan. (Taufik et al., 2021).

Meskipun curah hujan berpengaruh positif, pentingnya jumlah hari hujan menunjukkan adanya nuansa dalam pola curah hujan yang dapat mempengaruhi ketersediaan air bagi tanaman kelapa sawit. Beberapa penelitian mencatat bahwa curah hujan yang tidak merata menjadi tantangan utama, meskipun luas lahan yang tersedia cukup signifikan. Lebih lanjut, pentingnya pengelolaan lahan secara optimal dan distribusi curah hujan yang stabil untuk meningkatkan produktivitas.

Berdasarkan temuan ini, beberapa implikasi kebijakan dapat dirumuskan untuk mendukung keberlanjutan dan peningkatan produktivitas industri kelapa sawit di Sumatera Utara:

1. Peningkatan Investasi di Sektor Pertanian: Korelasi yang sangat kuat antara PDRB sektor pertanian dan produktivitas kelapa sawit menunjukkan bahwa pemerintah dan pemangku kepentingan perlu mendorong peningkatan investasi dalam sektor ini. Ini dapat diwujudkan melalui kemudahan akses permodalan bagi petani, insentif pajak untuk perusahaan perkebunan yang melakukan ekspansi dan modernisasi, serta alokasi anggaran yang lebih besar untuk infrastruktur pertanian. Peningkatan PDRB dapat mencerminkan peningkatan adopsi teknologi dan praktik budidaya yang lebih maju, yang secara langsung berkontribusi pada efisiensi dan hasil produksi, sejalan dengan studi-studi terdahulu yang menyoroti peran modal dan teknologi dalam peningkatan produktivitas.
2. Manajemen Lahan yang Optimal dan Berkelanjutan: Pengaruh signifikan dari luas lahan terhadap produktivitas menunjukkan bahwa pengelolaan lahan yang efektif adalah kunci. Kebijakan harus fokus pada praktik pengelolaan lahan yang berkelanjutan, termasuk pemanfaatan lahan yang efisien, konservasi tanah, dan pencegahan deforestasi. Perluasan lahan harus dilakukan secara terencana dan memperhatikan aspek lingkungan serta sosial untuk memastikan peningkatan produktivitas tidak merusak ekosistem atau menimbulkan konflik lahan. Ini sejalan dengan dorongan untuk peningkatan produktivitas melalui pengelolaan faktor-faktor produksi yang lebih baik, seperti yang dibahas dalam literatur terkait optimalisasi penggunaan sumber daya lahan.
3. Pengelolaan Air dan Iklim yang Adaptif: Meskipun curah hujan menunjukkan pengaruh positif, tantangan yang diidentifikasi oleh penelitian sebelumnya terkait curah hujan yang tidak merata menggarisbawahi perlunya kebijakan adaptif terhadap perubahan iklim. Ini termasuk pengembangan sistem irigasi dan drainase yang efektif untuk memastikan pasokan air yang cukup selama musim kemarau dan mencegah genangan air saat curah hujan tinggi. Program penyuluhan kepada petani mengenai praktik budidaya yang tahan iklim, seperti penggunaan varietas unggul atau teknik konservasi air, juga sangat penting. Analisis sensitivitas dari model yang menggabungkan luas lahan, curah hujan, dan PDRB dapat memberikan gambaran tentang bagaimana perubahan pada salah satu faktor akan memengaruhi produktivitas secara keseluruhan, sehingga menjadi alat efektif bagi perumusan strategi berbasis bukti. Temuan ini memperkuat urgensi adaptasi terhadap variabilitas iklim seperti yang telah banyak disuarakan oleh penelitian agronomi dan lingkungan.

Secara keseluruhan, model matematika yang dikembangkan dalam penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk merumuskan kebijakan yang terintegrasi, mempertimbangkan baik faktor lingkungan maupun ekonomi, demi mencapai peningkatan produktivitas kelapa sawit yang berkelanjutan di Indonesia.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif, korelasi, dan regresi linier serta kuadratik, beberapa poin kunci dapat disimpulkan:

1. **Faktor Dominan terhadap Produktivitas:** Produktivitas kelapa sawit secara signifikan dan positif dipengaruhi oleh luas lahan dan PDRB sektor pertanian. Luas lahan menunjukkan korelasi yang sangat kuat (0.835) dan PDRB sektor pertanian menunjukkan korelasi yang dominan (0.963) dengan produktivitas, mengindikasikan bahwa peningkatan pada kedua faktor ini berkontribusi besar pada peningkatan hasil kelapa sawit.
2. **Peran Curah Hujan dan Harga TBS:** Curah hujan dan harga TBS kelapa sawit juga memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap produktivitas. Meskipun demikian, jumlah hari hujan tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik dalam model regresi linier. Ini menunjukkan bahwa meskipun curah hujan secara umum penting, pola distribusinya mungkin memerlukan analisis lebih lanjut atau variabel lain yang lebih spesifik.
3. **Model Regresi Linier Lebih Sesuai:** Baik model regresi linier maupun kuadratik menunjukkan kemampuan prediksi yang sangat tinggi dengan nilai  $R^2$  yang identik (0.947). Namun, sebagian besar koefisien variabel kuadratik tidak signifikan secara statistik, menunjukkan bahwa hubungan antara variabel independen dan produktivitas kelapa sawit cenderung lebih bersifat linier dalam rentang data yang diteliti. Oleh karena itu, model regresi linier dianggap lebih parsimonius dan memadai untuk menjelaskan hubungan ini.
4. **Uji Asumsi Terpenuhi:** Model regresi linier dan kuadratik yang digunakan telah memenuhi asumsi klasik regresi, yaitu normalitas residual, homoskedastisitas, dan tidak adanya multikolinearitas yang serius, meskipun terdapat korelasi kuat antar beberapa variabel independen (misalnya, luas lahan dan PDRB sektor pertanian).
5. **Implikasi Kebijakan:** Temuan penelitian menggarisbawahi pentingnya kebijakan yang berfokus pada peningkatan investasi di sektor pertanian, manajemen lahan yang optimal dan berkelanjutan, serta pengembangan strategi adaptif terhadap variabilitas iklim untuk mendukung peningkatan produktivitas kelapa sawit di Sumatera Utara secara berkelanjutan. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyoroti pentingnya faktor ekonomi dan lingkungan dalam mendukung produktivitas pertanian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., Jannah, M., Aiman, U., Hasda, S., Fadila, Z., Taqwin, Masita, Ardiawan, Ketut N., & Sari, Meilida E. (2021). *Metodologi Penelitian Kuantitatif*. Yayasan Penerbit Muhammad Zaini.
- Aswan, N., Fadhilah, Y., Noor, M., & Siregar, H. (2023). Clusterisasi Kabupaten/Kota Di Sumatera Utara Berdasarkan Luas Tanam Dan Hasil Produksi Kelapa Sawit. *EDUSAINS: Journal Of Education And Science*, 01(01), 25–32.
- Aswan, N., Fadhilah, Y., Noor, M., Siregar, H., & Rina, N. (2024). Analisis Regresi Linier Dalam Estimasi Produktivitas Kelapa Sawit ( *Elaeis Guineensis* ) Di Kabupaten Tapanuli Selatan. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 4(1), 10264–10276.
- Halawa, D. N., Pakpahan, R. W., Sirait, P., & Siahaan, W. B. (2024). *Analisis Pendapatan Dan Kontribusi Usahatani Kelapa Sawit Rakyat Terhadap Total Pendapatan Keluarga Di Kecamatan Kualuh Selatan Kabupaten Labuan Batu. September 2020*, 68–75.
- Hermantoro. (2009). PEMODELAN DAN SIMULASI PRODUKTIVITAS PERKEBUNAN KELAPA SAWIT BERDASARKAN KUALITAS LAHAN DAN IKLIM MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN. *Jurnal Agromet*, 23(1), 45–51.
- Mada, Y. P. (2025). Metodologi Penelitian. In *Eureka Media Aksara*. Eureka Media Aksara.
- Mustari, Yonariza, & Khairati, R. (2020). Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Komoditas Kelapa Sawit Perkebunan Rakyat Dengan Pola Swadaya Di Kabupaten Aceh Tamiang. *JIMEA (Jurnali Ilmu Manajemen, Ekonomi Dan Akuntansi)*, 4(3), 1524–1542.
- Ningsih, T., Sitompul, I. O. Y., & Siahaan, S. D. (2023). Analisa Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi



- Produksi Kelapa Sawit Di Kebun Tanah Raja PT . Bakrie Sumatera Plantations. *Journal Of Agribusiness Science (Jasc)*, 7(2), 166–174.
- Nurahman, & Nindi Ernawati. (2024). Analisis Algoritma C45 Dan Regresi Linear Untuk Memprediksi Hasil Panen Kelapa Sawit. *Journal Of Computer System Anda Informatics (Josyc)*, 5(4), 1155–1163.
- Nurhadi, M. I. (2024). Sistem Estimasi Massa Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Menggunakan Citra Unmanned Aerial Vehicle Dengan Model Random Forest Regression. In *Universitas Hasanuddin*. Universitas Hasanuddin.
- Sahir, S. H. (2021). *Metodologi Penelitian*. Penerbit KBM Indonesia.
- Saragih, L. (2020). *Penerapan Data Mining Untuk Memprediksi Jumlah Produksi Kelapa Sawit Menggunakan Metode Regresi Linear Berganda (Studi Kasus: PT. Padasa Enam Utama)*. Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Sugiyono. (2018). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, Dan R&D*. Alfabeta.
- Taufik, V. V., Sukmono, A., & Firdaus, H. S. (2021). Estimasi Produktivitas Kelapa Sawit Menggunakan Metode NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) Dan ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index) Dengan Citra Sentinel-2A (Studi Kasus : Beberapa Wilayah Di Provinsi Riau). *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1), 153–162.  
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/29636>
- Wagiran. (2019). Metodologi Penelitian Pendidikan (Teori Dan Implementasi). In *Deepublish*. Deepublish.  
[http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isallowed=Y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484\\_SISTEM\\_PEMBETUNGAN\\_TERPUSAT\\_STRATEGI\\_MELESTARI](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isallowed=Y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI)