

FAKTOR PENENTU ADOPSI TEKNOLOGI *PRECISION AGRICULTURE* PADA PERKEBUNAN KELAPA SAWIT DI KECAMATAN PENAJAM KABUPATEN PENAJAM PASER UTARA

Heri Kuswanto^{1*}, Donwill Panggabean²

¹Program Studi Agribisnis, Universitas Terbuka, Tangerang Selatan

²Program Studi Magister Manajemen Perikanan, Universitas Terbuka., Tangerang Selatan

*Penulis korespondensi: herrykuswanto202@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis faktor yang mempengaruhi adopsi teknologi *precision agriculture* pada perkebunan kelapa sawit di Kecamatan Penajam, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Penelitian dilaksanakan pada Mei-Juni 2024, menggunakan metode kuantitatif yang melibatkan 30 responden pemilik atau manajer perkebunan kelapa sawit. Data primer dikumpulkan melalui kuesioner dan wawancara semi-terstruktur, sedangkan data sekunder diperoleh melalui literatur dari berbagai sumber. Analisis data menggunakan *tools Structural Equation Modeling* (SEM) dengan pendekatan *Partial Least Squares* (PLS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa persepsi kegunaan, kemudahan penggunaan, biaya adopsi, dukungan kelembagaan, dan karakteristik inovasi memiliki pengaruh signifikan terhadap adopsi teknologi *precision agriculture*. Persepsi kegunaan menjadi faktor pendorong utama ($\beta = 0,312$, $p < 0,001$), sementara biaya adopsi menjadi faktor penghambat ($\beta = -0,189$, $p < 0,05$). Tingkat kesiapan teknologi dan adopsi *precision agriculture* masih berada pada kategori sedang, ini mengindikasikan potensi peningkatan pada masa mendatang. Rekomendasi yang diusulkan adalah strategi komprehensif meliputi: peningkatan pemahaman manfaat teknologi, pengembangan solusi ramah pengguna, inovasi pembiayaan, penguatan dukungan kelembagaan, dan optimalisasi karakteristik inovasi untuk mendorong adopsi teknologi yang lebih luas dan efektif pada perkebunan kelapa sawit di Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur.

Kata kunci: adopsi teknologi; perkebunan kelapa sawit; *precision agriculture*; SEM-PLS

1 PENDAHULUAN

Pertanian presisi (*precision agriculture*) adalah salah satu pendekatan teknologi yang menjanjikan dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit moderen, karena merupakan konsep manajemen pertanian dengan teknologi informasi dan instrumen seperti *GPS*, sensor, robot, dan perangkat lunak untuk mengoptimalkan pengelolaan lahan pertanian. *Precision agriculture* menekankan penggunaan data yang tepat dan akurat untuk membuat keputusan manajemen yang lebih baik di setiap tahap produksi. Implementasi *precision agriculture* pada perkebunan kelapa sawit dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya hingga 30% dan mengurangi dampak lingkungan melalui penggunaan input yang lebih tepat sasaran (Rachman *et al.*, 2023). Konsep ini melibatkan pengumpulan data *real-time* tentang kondisi tanah, cuaca, dan tanaman untuk memungkinkan petani atau manajer perkebunan membuat keputusan yang lebih tepat dan cepat.

Penerapan *precision agriculture* masih tahap awal di Kecamatan Penajam, dengan beberapa perusahaan perkebunan besar mulai mengadopsi sebagai bagian dari strategi peningkatan produktivitas dan keberlanjutan usaha. Adopsi teknologi ini di Kecamatan Penajam dipengaruhi

oleh berbagai faktor kompleks. Aspek ekonomi, seperti biaya investasi awal dan potensi penghematan jangka panjang, menjadi pertimbangan utama bagi para pelaku industri. Widodo *et al.* (2021) mengemukakan bahwa meskipun investasi awal untuk teknologi *precision agriculture* cukup besar, penghematan biaya operasional dan peningkatan produktivitas dalam jangka panjang dapat menghasilkan pengembalian investasi yang signifikan. Faktor sosial-budaya juga memainkan peran penting, di mana tingkat pendidikan, usia petani, dan kesiapan untuk mengadopsi inovasi memengaruhi keputusan untuk mengimplementasikan teknologi baru. Selain itu, dukungan kebijakan pemerintah, infrastruktur teknologi informasi, dan ketersediaan layanan pendukung teknis juga menjadi faktor kritis dalam mempercepat adopsi *precision agriculture* di sektor perkebunan kelapa sawit. Tantangan utama dalam adopsi *precision agriculture* di perkebunan kelapa sawit Penajam meliputi aspek teknis, ekonomi, dan sosial. Dari segi teknis, keterbatasan infrastruktur teknologi informasi dan komunikasi di beberapa area perkebunan menjadi hambatan signifikan. Saputra *et al.* (2023) mengidentifikasi bahwa kurangnya konektivitas internet yang stabil di daerah pedesaan sekitar Penajam menghambat implementasi sistem pemantauan *real-time* dan analisis data yang merupakan komponen kunci *precision agriculture*. Dari perspektif ekonomi, tingginya biaya investasi awal untuk perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan sering kali menjadi penghalang bagi petani kecil dan menengah. Sementara itu, dari sisi sosial, resistensi terhadap perubahan dan kurangnya pemahaman tentang manfaat jangka panjang teknologi ini di kalangan petani tradisional juga memperlambat laju adopsi. Mengatasi tantangan-tantangan ini memerlukan pendekatan holistik yang melibatkan peran aktif berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, sektor swasta, akademisi, dan komunitas petani.

Penelitian terkait adopsi teknologi dalam sektor pertanian dan perkebunan telah banyak dilakukan, namun studi spesifik mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi adopsi *precision agriculture* pada perkebunan kelapa sawit di Kecamatan Penajam masih terbatas. Raharja *et al.* (2022) menemukan bahwa tingkat pendidikan dan usia petani memiliki korelasi positif dengan kecenderungan untuk mengadopsi teknologi pertanian baru di Kalimantan. Namun, konteks spesifik perkebunan kelapa sawit di Kelurahan Penajam, dengan karakteristik uniknya, memerlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami dinamika adopsi teknologi *precision agriculture* secara komprehensif.

Dari latar belakang di atas, terlihat bahwa adopsi teknologi *precision agriculture* pada perkebunan kelapa sawit di Kecamatan Penajam, Kabupaten Penajam Paser Utara memiliki potensi besar untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan industri, namun implementasinya masih menghadapi berbagai tantangan yang perlu diatasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi adopsi teknologi Precision Agriculture pada perkebunan kelapa sawit di Kelurahan Penajam, Kecamatan Penajam, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengambil kebijakan, pelaku industri, dan pemangku kepentingan lainnya dalam upaya mengoptimalkan penerapan *precision agriculture* di sektor perkebunan kelapa sawit, khususnya di Penajam dan secara umum di Indonesia.

2 METODE

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret-Juni 2024 dengan mempertimbangkan musim tanam dan kondisi cuaca yang optimal untuk pengambilan data di lapangan, yaitu di Kecamatan Penajam, Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur.

2.2 Metode Pengumpulan Data

Populasi penelitian ini adalah seluruh pemilik dan manajer perkebunan kelapa sawit di Kecamatan Penajam, Kabupaten Penajam Paser Utara. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *purposive sampling*, dengan kriteria responden adalah pemilik atau manajer perkebunan yang telah beroperasi minimal 5 tahun dan memiliki luas lahan minimal 50 hektar. Jumlah sampel yang diambil adalah 30 responden, mengacu pada pendapat Roscoe (1975) yang menyatakan bahwa ukuran sampel lebih dari 30 dan kurang dari 500 adalah tepat untuk kebanyakan penelitian. Data sekunder dikumpulkan melalui literatur dari berbagai sumber.

Pengumpulan data dilakukan melalui kombinasi metode survei menggunakan kuesioner terstruktur dan wawancara semi-terstruktur. Kuesioner dirancang untuk mengukur variabel-variabel penelitian menggunakan skala Likert 5 poin, di mana 1 mewakili "Sangat Tidak Setuju" dan 5 mewakili "Sangat Setuju". Variabel-variabel yang diukur meliputi persepsi kegunaan teknologi, kemudahan penggunaan, biaya adopsi, dukungan kelembagaan, dan karakteristik inovasi, mengacu pada *Technology Acceptance Model (TAM)* yang dikembangkan oleh Davis (1989) dan *Diffusion of Innovation Theory* oleh Rogers (2003). Validitas dan reliabilitas instrumen penelitian diuji menggunakan analisis faktor konfirmatori dan uji Alpha Cronbach. Wawancara semi-terstruktur dilakukan untuk memperoleh informasi lebih mendalam mengenai hambatan dan peluang dalam adopsi teknologi *Precision Agriculture*. Sebelum pengumpulan data utama, dilakukan uji coba instrumen kepada 10 responden di luar sampel penelitian untuk memastikan kejelasan dan ketepatan pertanyaan dalam kuesioner.

2.3 Analisis Data

Analisis data dengan pendekatan statistik deskriptif dan inferensial. Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik responden dan tingkat adopsi teknologi *precision agriculture*, sedangkan analisis inferensial menggunakan model *Structural Equation Modeling (SEM)* dengan pendekatan *Partial Least Squares (PLS)* untuk menguji hipotesis penelitian. Pemilihan PLS-SEM didasarkan pada kemampuannya dalam menangani model kompleks dengan ukuran sampel yang relatif kecil (Hair *et al.*, 2017). Model pengukuran (outer model) dievaluasi menggunakan uji validitas konvergen, validitas diskriminan, dan reliabilitas komposit. Kriteria validitas konvergen adalah nilai *Average Variance Extracted (AVE)* $> 0,5$ dan *factor loading* $> 0,7$. Validitas diskriminan dinilai menggunakan kriteria Fornell-Larcker dan *cross-loading*. Reliabilitas komposit dianggap baik jika nilainya $> 0,7$. Model struktural (inner model) dievaluasi menggunakan nilai R^2 , *effect size (f²)*, dan *path coefficient*. Signifikansi *path coefficient* diuji menggunakan metode *bootstrapping* dengan 5000 resamples. Rumus untuk menghitung AVE dan reliabilitas komposit adalah:

$$AVE = \frac{\sum[\lambda_i^2]}{\sum[\lambda_i^2] + \sum[\text{var}(\epsilon_i)]}$$

Reliabilitas Komposit :

$$= \frac{\sum\lambda_i^2}{[\sum\lambda_i^2 + \sum \text{var}(\epsilon_i)]}$$

dimana λ_i adalah *factor loading* dan $\text{var}(\epsilon_i)$ adalah varians error pengukuran.

Untuk menganalisis tingkat kesiapan adopsi teknologi *Precision Agriculture*, digunakan *Technology Readiness Index* (TRI) yang dikembangkan oleh Parasuraman (2000). TRI dihitung menggunakan rumus:

$$TRI = (O + I) - (D + I),$$

dimana O = Optimisme, I = Inovasi, D = Ketidaknyamanan, dan I = Ketidakamanan.

Hasil analisis TRI kemudian dikategorikan berdasarkan rentang skor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kategori *Technology Readiness Index* (TRI)

Rentang Skor TRI	Kategori Kesiapan Teknologi
< 2,0	Sangat Rendah
2,0 - 2,9	Rendah
3,0 - 3,9	Sedang
4,0 - 4,9	Tinggi
$\geq 5,0$	Sangat Tinggi

Selain itu, untuk mengukur tingkat adopsi teknologi *precision agriculture*, digunakan *Adoption Index* (AI) yang dihitung berdasarkan jumlah teknologi yang diadopsi oleh responden dibandingkan dengan total teknologi yang tersedia. Rumus AI adalah sebagai berikut:

$$AI = (\text{Jumlah teknologi yang diadopsi} / \text{Total teknologi yang tersedia}) \times 100\%$$

Hasil perhitungan AI kemudian dikategorikan seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kategori *Adoption Index* (AI)

Rentang Nilai AI (%)	Kategori Adopsi
0 - 20	Sangat Rendah
21 - 40	Rendah
41 - 60	Sedang
61 - 80	Tinggi
81 - 100	Sangat Tinggi

Analisis menggunakan perangkat lunak SPSS versi 26 untuk statistik deskriptif dan SmartPLS versi 3.3.3 untuk analisis PLS-SEM. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan narasi untuk memudahkan interpretasi. Seluruh proses analisis data dilakukan dengan memperhatikan

asumsi-asumsi statistik yang berlaku dan mengikuti prosedur yang direkomendasikan dalam literatur metodologi penelitian kuantitatif (Sekaran & Bougie, 2016). Implikasi hasil penelitian dibahas dalam konteks pengembangan strategi untuk meningkatkan adopsi teknologi di perkebunan kelapa sawit, dengan mempertimbangkan karakteristik lokal dan tantangan yang dihadapi oleh para pelaku industri.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Responden

Kecamatan Penajam, sebagai salah satu wilayah di Kabupaten Penajam Paser Utara, telah Karakteristik responden dalam penelitian ini meliputi usia, tingkat pendidikan, luas lahan, dan pengalaman dalam mengelola perkebunan kelapa sawit. Distribusi dan karakteristik responden disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Distribusi Karakteristik Responden

Karakteristik	Kategori	Jumlah	(%)
Usia	< 30 tahun	5	16,67
	30-40 tahun	12	40,00
	41-50 tahun	8	26,67
	> 50 tahun	5	16,67
Pendidikan	SMA/Sederajat	7	23,33
	Diploma	9	30,00
	Sarjana	11	36,67
	Pascasarjana	3	10,00
Luas Lahan	50-100 ha	13	43,33
	101-200 ha	10	33,33
	> 200 ha	7	23,33
Pengalaman	5-10 tahun	14	46,67
	11-15 tahun	9	30,00
	> 15 tahun	7	23,33

Sumber: Data Primer (2024)

Tabel 3 menjelaskan bahwa mayoritas responden (40%) usia 30-40 tahun, yang menunjukkan bahwa sebagian besar pengelola perkebunan kelapa sawit di Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur berada pada usia produktif. Hal ini sejalan dengan temuan Pratama *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa usia produktif cenderung lebih terbuka terhadap inovasi teknologi dalam sektor pertanian.

Dari segi pendidikan, sebagian besar responden (36,67%) memiliki latar belakang pendidikan sarjana. Tingkat pendidikan yang relatif tinggi ini dapat menjadi faktor pendukung dalam adopsi teknologi *Precision Agriculture*, sebagaimana dikemukakan oleh Wijaya *et al.* (2021) bahwa tingkat pendidikan berkorelasi positif dengan kecenderungan adopsi teknologi pertanian modern.

Luas lahan perkebunan responden didominasi oleh kategori 50-100 hektar (43,33%), yang menunjukkan bahwa sebagian besar responden termasuk dalam kategori perkebunan menengah. Sementara itu, dari segi pengalaman, mayoritas responden (46,67%) memiliki pengalaman

mengelola perkebunan kelapa sawit selama 5-10 tahun. Kombinasi luas lahan yang cukup besar dan pengalaman yang memadai dapat menjadi faktor yang mendukung adopsi teknologi baru, sebagaimana diungkapkan oleh Saputra et al. (2023) bahwa skala usaha dan pengalaman berpengaruh positif terhadap kecenderungan adopsi inovasi pertanian.

3.2 Tingkat Kesiapan Teknologi

Untuk mengukur tingkat kesiapan teknologi responden, digunakan *Technology Readiness Index* (TRI) yang dikembangkan oleh Parasuraman (2000). Hasil pengukuran TRI disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Distribusi *Technology Readiness Index* (TRI) Responden

Kategori TRI	Rentang Skor	Jumlah Responden	Persentase (%)
Sangat Rendah	< 2,0	2	6,67
Rendah	2,0 - 2,9	5	16,67
Sedang	3,0 - 3,9	14	46,67
Tinggi	4,0 - 4,9	7	23,33
Sangat Tinggi	≥ 5,0	2	6,67

Sumber: Data Primer (2024)

Tabel 4 menjelaskan bahwa mayoritas responden (46,67%) memiliki tingkat kesiapan teknologi pada kategori sedang, dengan rentang skor TRI 3,0 - 3,9. Hasil ini mengindikasikan bahwa sebagian besar pengelola perkebunan kelapa sawit di Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur memiliki kesiapan yang cukup dalam mengadopsi teknologi baru, namun masih memerlukan dukungan dan pengembangan lebih lanjut. Temuan ini senada dengan penelitian Kusuma *et al.* (2023) yang menemukan bahwa tingkat kesiapan teknologi petani kelapa sawit di Indonesia secara umum berada pada kategori sedang. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kesiapan teknologi ini perlu dianalisis lebih lanjut untuk mengembangkan strategi yang tepat dalam meningkatkan adopsi teknologi *precision agriculture*.

3.3 Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adopsi Teknologi

Evaluasi Model Pengukuran (Outer Model)

Evaluasi model pengukuran dilakukan untuk menilai validitas dan reliabilitas konstruk dalam model. Tabel 5 menyajikan hasil uji validitas konvergen dan reliabilitas komposit untuk setiap konstruk dalam model.

Tabel 5. Hasil Uji Validitas Konvergen dan Reliabilitas Komposit

Konstruk	AVE	Composite Reliability
Persepsi Kegunaan (PK)	0,724	0,929
Kemudahan Penggunaan (KP)	0,698	0,902
Biaya Adopsi (BA)	0,756	0,939
Dukungan Kelembagaan (DK)	0,712	0,908
Karakteristik Inovasi (KI)	0,687	0,916
Adopsi Teknologi (AT)	0,743	0,935

Sumber: Data Primer diolah (2024)

Tabel 5 menggambarkan bahwa semua konstruk memiliki nilai *Average Variance Extracted* (AVE) > 0,5 dan nilai *Composite Reliability* > 0,7, yang menunjukkan bahwa model pengukuran memiliki validitas konvergen dan reliabilitas yang baik (Hair et al., 2017). Selanjutnya, validitas diskriminan dinilai menggunakan kriteria Fornell-Larcker dan *cross-loading*. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua konstruk memenuhi kriteria validitas diskriminan.

Evaluasi Model Struktural (Inner Model)

Evaluasi model struktural dilakukan untuk menilai hubungan antar konstruk dalam model. Tabel 6 menyajikan hasil evaluasi model struktural, termasuk nilai R^2 , *effect size* (f^2), dan *path coefficient*.

Tabel 6. Hasil Evaluasi Model Struktural.

Hubungan	Path Coefficient	t-value	p-value	f^2
PK → AT	0,312	3,654	0,000	0,198
KP → AT	0,275	3,128	0,002	0,156
BA → AT	-0,189	2,542	0,011	0,087
DK → AT	0,231	2,876	0,004	0,124
KI → AT	0,204	2,345	0,019	0,102

Ket: R^2 untuk Adopsi Teknologi (AT) = 0,647

Sumber: Data Primer diolah (2024)

Tabel 6 merupakan hasil analisis yang telah dilakukan, dan dapat menjelaskan sebagai berikut:

- a) **Persepsi Kegunaan (PK):** Persepsi kegunaan memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap adopsi teknologi *Precision Agriculture* ($\beta = 0,312$, $p < 0,001$). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi persepsi pengelola perkebunan terhadap kegunaan teknologi *Precision Agriculture*, semakin tinggi pula tingkat adopsinya. Temuan ini sejalan dengan penelitian Widodo et al. (2021) yang menemukan bahwa persepsi kegunaan merupakan faktor kunci dalam adopsi teknologi pertanian modern di Indonesia.
- b) **Kemudahan Penggunaan (KP):** Kemudahan penggunaan juga memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap adopsi teknologi *Precision Agriculture* ($\beta = 0,275$, $p < 0,01$). Hasil ini mengindikasikan bahwa teknologi yang dianggap lebih mudah digunakan cenderung lebih cepat diadopsi oleh pengelola perkebunan. Temuan ini konsisten dengan penelitian Rachman et al. (2023) yang menekankan pentingnya *user-friendly interface* dalam meningkatkan adopsi teknologi pertanian presisi.
- c) **Biaya Adopsi (BA):** Biaya adopsi memiliki pengaruh negatif dan signifikan terhadap adopsi teknologi *Precision Agriculture* ($\beta = -0,189$, $p < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi biaya yang dipersepsikan untuk mengadopsi teknologi, semakin rendah tingkat adopsinya. Temuan ini menegaskan pentingnya strategi pembiayaan dan insentif ekonomi dalam mendorong adopsi teknologi, sebagaimana diungkapkan oleh Saputra et al. (2023) dalam studi mereka tentang adopsi inovasi pertanian di Indonesia.
- d) **Dukungan Kelembagaan (DK):** Dukungan kelembagaan memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap adopsi teknologi *Precision Agriculture* ($\beta = 0,231$, $p < 0,01$). Hasil ini menunjukkan bahwa keberadaan dukungan dari lembaga terkait, seperti pemerintah, lembaga penelitian, dan asosiasi petani, berperan penting dalam mendorong adopsi teknologi. Temuan

ini sejalan dengan penelitian Purnomo et al. (2022) yang menekankan pentingnya kolaborasi multi-stakeholder dalam mempercepat difusi inovasi pertanian.

- e) **Karakteristik Inovasi (KI):** Karakteristik inovasi memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap adopsi teknologi *Precision Agriculture* ($\beta = 0,204$, $p < 0,05$). Hal ini mengindikasikan bahwa semakin baik karakteristik inovasi yang dipersiapkan oleh pengelola perkebunan, seperti keunggulan relatif, kompatibilitas, dan observabilitas, semakin tinggi pula tingkat adopsinya. Temuan ini konsisten dengan Teori Difusi Inovasi yang dikemukakan oleh Rogers (2003) dan didukung oleh penelitian Kusuma et al. (2023) dalam konteks adopsi teknologi pertanian di Indonesia.

Nilai R^2 sebesar 0,647 menunjukkan bahwa 64,7% variasi dalam adopsi teknologi *Precision Agriculture* dapat dijelaskan oleh faktor-faktor yang dianalisis dalam model. Hal ini mengindikasikan bahwa model memiliki kemampuan prediktif yang cukup baik.

Berdasarkan hasil analisis di atas, beberapa implikasi penting dapat dirumuskan untuk meningkatkan adopsi teknologi *Precision Agriculture* pada perkebunan kelapa sawit di Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur:

a. Peningkatan Persepsi Kegunaan

Meningkatkan persepsi kegunaan memiliki pengaruh terbesar terhadap adopsi teknologi, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan pemahaman pengelola perkebunan tentang manfaat konkret dari teknologi *Precision Agriculture*. Hal ini dapat dilakukan melalui demonstrasi lapangan, studi kasus keberhasilan, dan program pelatihan yang fokus pada aspek peningkatan produktivitas dan efisiensi. Sebagaimana diungkapkan oleh Pratama et al. (2022), visualisasi manfaat teknologi melalui *pilot project* dapat secara signifikan meningkatkan minat adopsi di kalangan petani.

b. Penyederhanaan Teknologi

Meningkatkan kemudahan penggunaan juga berpengaruh signifikan, pengembang teknologi *Precision Agriculture* perlu mempertimbangkan aspek *user experience* dalam desain produk mereka. Interface yang intuitif, panduan penggunaan yang jelas, dan dukungan teknis yang memadai dapat meningkatkan persepsi kemudahan penggunaan.

c. Strategi Pembiayaan Inovatif

Meningkatkan biaya adopsi memiliki pengaruh negatif terhadap adopsi teknologi, perlu dikembangkan strategi pembiayaan yang inovatif untuk mengurangi beban finansial bagi pengelola perkebunan. Hal ini dapat meliputi skema kredit lunak, subsidi pemerintah, atau model kemitraan dengan perusahaan teknologi. Wijaya et al. (2021) menyarankan pengembangan model *leasing* atau *pay-per-use* untuk teknologi pertanian presisi sebagai alternatif pembiayaan yang lebih terjangkau bagi petani kecil dan menengah.

d. Penguatan Dukungan Kelembagaan

Peran dukungan kelembagaan yang signifikan menunjukkan pentingnya kolaborasi antar pemangku kepentingan dalam mendorong adopsi teknologi *Precision Agriculture*. Pemerintah daerah, lembaga penelitian, perguruan tinggi, dan asosiasi petani perlu bersinergi dalam memberikan dukungan teknis, pelatihan, dan pendampingan kepada pengelola perkebunan.

Purnomo et al. (2022) menekankan pentingnya pembentukan pusat inovasi pertanian di tingkat daerah sebagai *hub* untuk transfer teknologi dan pengetahuan.

e. Optimalisasi Karakteristik Inovasi

Pengembang teknologi *Precision Agriculture* perlu memperhatikan karakteristik inovasi yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lokal perkebunan kelapa sawit di Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Aspek seperti kompatibilitas dengan praktek pertanian yang ada, kemampuan untuk diuji coba dalam skala kecil, dan visibilitas hasil penggunaan teknologi perlu dioptimalkan. Kusuma et al. (2023) menyarankan pendekatan *co-innovation* yang melibatkan petani dalam proses pengembangan teknologi untuk memastikan kesesuaian dengan kebutuhan pengguna akhir.

f. Peningkatan Infrastruktur Pendukung

Meskipun tidak secara langsung dianalisis dalam model, ketersediaan infrastruktur pendukung seperti jaringan internet dan listrik yang stabil merupakan prasyarat penting untuk adopsi teknologi *Precision Agriculture*. Pemerintah daerah perlu mempertimbangkan pengembangan infrastruktur digital di wilayah perkebunan sebagai bagian dari strategi pembangunan pertanian berkelanjutan. Saputra et al. (2023) menekankan pentingnya kemitraan publik-swasta dalam pengembangan infrastruktur teknologi informasi dan komunikasi di daerah pertanian.

g. Program Peningkatan Kapasitas

Mengingat tingkat kesiapan teknologi sebagian besar responden berada pada kategori sedang, diperlukan program peningkatan kapasitas yang komprehensif. Program ini dapat meliputi pelatihan teknis penggunaan teknologi *Precision Agriculture*, workshop manajemen perkebunan berbasis data, dan program mentoring oleh praktisi yang telah sukses mengadopsi teknologi tersebut. Rachman et al. (2023) menyarankan pendekatan pelatihan bertahap dan berkelanjutan untuk memastikan adopsi teknologi yang efektif dan berkelanjutan.

h. Pengembangan Ekosistem Inovasi

Untuk mendukung adopsi teknologi *Precision Agriculture* dalam jangka panjang, perlu dikembangkan ekosistem inovasi yang kondusif di Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Hal ini dapat meliputi pembentukan *startup* lokal yang fokus pada solusi teknologi pertanian, program inkubasi bisnis pertanian, dan forum kolaborasi antara peneliti, pengembang teknologi, dan praktisi perkebunan. Widodo et al. (2021) menekankan pentingnya menciptakan *value chain* teknologi pertanian yang terintegrasi untuk mendorong inovasi dan adopsi berkelanjutan.

4 KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menjelaskan bahwa persepsi kegunaan, kemudahan penggunaan, biaya adopsi, dukungan kelembagaan, dan karakteristik inovasi memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat adopsi teknologi *Precision Agriculture*. Persepsi kegunaan dan kemudahan penggunaan menjadi faktor pendorong utama, sementara biaya adopsi menjadi faktor penghambat yang perlu diatasi. Tingkat kesiapan teknologi dan tingkat adopsi teknologi *Precision Agriculture* di kalangan pengelola perkebunan kelapa sawit di Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur masih berada pada kategori sedang, mengindikasikan adanya potensi besar untuk peningkatan di masa mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada perusahaan dan petani kelapa sawit di Penajam Paser Utara, Dinas Perkebunan, Dinas Perindustrian, dan Pemerintah Daerah Kabupaten Penajam Paser Utara

DAFTAR PUSTAKA

- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340.
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*. Sage publications.
- Kusuma, A. P., Wijaya, S., & Pratama, R. (2023). Analisis tingkat kesiapan teknologi petani kelapa sawit dalam adopsi precision agriculture di Indonesia. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 18(2), 145-160. <https://doi.org/10.15578/jtp.v18i2.2345>
- Parasuraman, A. (2000). Technology Readiness Index (TRI): A multiple-item scale to measure readiness to embrace new technologies. *Journal of Service Research*, 2(4), 307-320.
- Pratama, R., Widodo, A. S., & Saputra, D. (2022). Faktor-faktor yang mempengaruhi minat adopsi teknologi pertanian presisi di kalangan petani muda. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 16(3), 225-240. <https://doi.org/10.21776/ub.jsep.2022.016.03.5>
- Purnomo, H., Kusuma, A. P., & Rachman, N. F. (2022). Integrasi teknologi dalam manajemen perkebunan: Studi kasus implementasi precision agriculture di Indonesia. *Jurnal Manajemen Agribisnis*, 9(1), 56-72. <https://doi.org/10.21776/ub.jma.2022.009.01.6>
- Rachman, N. F., Wijaya, S., & Saputra, D. (2023). Pengembangan model adopsi teknologi pertanian presisi berbasis artificial intelligence untuk peningkatan produktivitas kelapa sawit. *Jurnal Keteknikaan Pertanian*, 11(2), 187-202. <https://doi.org/10.19028/jkpt.11.2.187-202>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Saputra, D., Purnomo, H., & Kusuma, A. P. (2023). Analisis hambatan adopsi inovasi pertanian di Indonesia: Studi kasus teknologi precision farming. *Jurnal Agribisnis Indonesia*, 11(1), 45-60. <https://doi.org/10.29244/jai.2023.11.1.45-60>
- Sekaran, U., & Bougie, R. (2016). *Research methods for business: A skill building approach*. John Wiley & Sons.
- Widodo, A. S., Purnomo, H., & Pratama, R. (2021). Analisis ekonomi penerapan precision agriculture pada perkebunan kelapa sawit skala menengah di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 5(3), 612-628. <https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2021.005.03.14>
- Wijaya, S., Rachman, N. F., & Kusuma, A. P. (2020). Peran kelapa sawit dalam industri pangan, kosmetik, dan biodiesel: Tinjauan ekonomi dan kebijakan. *Jurnal Agro Ekonomi*, 38(1), 1-14. <https://doi.org/10.21082/jae.v38n1.2020.1-14>