

Analisis Prioritas Kesiapan Adopsi Integrasi Artificial Intelligence dan Blockchain dalam Rantai Pasok Kelapa Indonesia Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process

Muhammad Syukur Sarfat^{*1}, Yandra Arkeman¹², Anas Miftah Fauzi¹, Dwi Setyaningsih¹³, Zaky Abdul Haris⁴, Devara Adhi Prasetya⁴, and Jorrit de Boer⁵

¹Program Studi Teknik Industri Pertanian, Fakultas Teknik dan Teknologi, IPB University, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

²Blockchain, Robotics, and Artificial Intelligence Network, IPB University, Bogor 16144 Jawa Barat, Indonesia

³Surfactant and Bioenergy Research Center, IPB University, Bogor 16144, Jawa Barat, Indonesia

⁴Mahasiswa Program Magister, Program Studi Teknik Industri Pertanian, Program Pascasarjana, IPB University, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

⁵Master's Program in Wageningen University and Research Centre, Student Service Centre, 6700 AK, Wageningen, Netherlands

*e-mail: msyukursarfat@apps.ipb.ac.id

Abstrak

Indonesia sebagai produsen kelapa terbesar kedua di dunia menghadapi tantangan serius dalam inefisiensi rantai pasok yang mencakup ketidaktransparanan harga, lemahnya keterlacakan produk, serta kesenjangan kapasitas digital di antara aktor-aktornya. Integrasi teknologi *artificial intelligence* (AI) dan *blockchain* dipandang sebagai solusi transformatif, namun tingkat kesiapan adopsi pada berbagai segmen stakeholder belum teridentifikasi secara terstruktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan kriteria kesiapan adopsi integrasi AI dan *blockchain* dalam ekosistem rantai pasok kelapa Indonesia. Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk menganalisis dan menyintesis perspektif dari 18 responden yang merepresentasikan enam kelompok stakeholder, yaitu pemerintah daerah, industri pengolah kelapa, pengepul, pemasok kopra, petani, dan asosiasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa kriteria Manfaat & Nilai Tambah (C5) memperoleh bobot tertinggi sebesar 50,12%, diikuti Kesiapan SDM (C1) sebesar 19,88%, Kesiapan Finansial (C4) sebesar 14,58%, Infrastruktur Teknologi (C2) sebesar 9,63%, dan Dukungan Regulasi & Kebijakan (C3) sebesar 5,79%. Nilai *Consistency Ratio* (CR) sebesar 0,0183 mengonfirmasi validitas dan konsistensi penilaian. Temuan ini mengimplikasikan bahwa strategi adopsi teknologi harus diprioritaskan melalui demonstrasi manfaat konkret dan penguatan kapasitas sumber daya manusia di seluruh lapisan rantai pasok kelapa Indonesia.

Kata kunci: AHP; artificial intelligence; blockchain; kesiapan adopsi; rantai pasok kelapa.

Abstract

Indonesia, as the world's second-largest coconut producer, faces significant challenges in supply chain inefficiency, including price opacity, weak product traceability, and digital capacity gaps among its actors. The integration of *artificial intelligence* (AI) and *blockchain* technology is viewed as a transformative solution; however, readiness levels for adoption across stakeholder segments remain unstructured. This study aims to identify and prioritize criteria for the readiness to adopt AI and *blockchain* integration in Indonesia's coconut supply chain ecosystem. The Analytical Hierarchy Process (AHP) method was applied to analyze and synthesize perspectives from 18 respondents representing six stakeholder groups: local government, coconut processing industry, collectors, copra suppliers, farmers, and associations. Results indicate that the Benefit & Value-Added criterion (C5) attained the highest weight at 50.12%, followed by Human Resource Readiness (C1) at 19.88%, Financial Readiness (C4) at 14.58%, Technology Infrastructure (C2) at 9.63%, and Regulatory & Policy Support (C3) at 5.79%. A Consistency Ratio (CR) of 0.0183 confirms the validity and reliability of the judgments. These findings imply that adoption strategies should be prioritized through concrete benefit demonstration and strengthening human resource capacity across all layers of the Indonesian coconut supply chain.

Keywords: AHP; artificial intelligence; blockchain; adoption readiness; coconut supply chain.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu produsen kelapa terbesar di dunia dengan luas areal perkebunan mencapai lebih dari 3,3 juta hektar dan melibatkan lebih dari 15 juta petani [1]. Komoditas kelapa memainkan peran strategis dalam perekonomian nasional, tidak hanya sebagai sumber devisa ekspor, tetapi juga sebagai tumpuan penghidupan jutaan keluarga petani di wilayah pedesaan. Namun demikian, rantai pasok kelapa Indonesia hingga saat ini masih dihadapkan pada berbagai tantangan struktural, antara lain ketidaktransparanan informasi harga, lemahnya sistem keterlacakan produk (*traceability*), fragmentasi aktor, dan kesenjangan kapasitas digital yang lebar antara tingkat petani dengan industri hilir [2].

Teknologi *artificial intelligence* (AI) dan *blockchain* telah terbukti memberikan transformasi signifikan pada berbagai rantai pasok komoditas pertanian di tingkat global. AI memungkinkan analisis prediktif terhadap kondisi panen, fluktuasi harga, serta optimasi logistik, sementara *blockchain* menjamin keutuhan, transparansi, dan ketidakmampuan manipulasi data transaksi di sepanjang rantai pasok [3]. Studi empiris di berbagai negara berkembang menunjukkan bahwa integrasi kedua teknologi ini secara nyata meningkatkan efisiensi, kepercayaan antarpemangku kepentingan, serta nilai tambah yang diterima petani [4]. Meskipun potensi manfaatnya besar, adopsi teknologi AI dan *blockchain* dalam konteks rantai pasok kelapa Indonesia masih sangat terbatas. Hambatan utama yang teridentifikasi mencakup rendahnya literasi digital di tingkat petani dan pengepul, keterbatasan infrastruktur konektivitas internet di wilayah rural, absennya regulasi spesifik yang mendukung implementasi, serta besarnya biaya investasi awal yang diperlukan [5]. Kondisi ini menunjukkan perlunya peta prioritas yang jelas mengenai aspek kesiapan adopsi yang paling kritis untuk ditangani terlebih dahulu. Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang diperkenalkan oleh Saaty [6] merupakan pendekatan pengambilan keputusan multikriteria yang telah terbukti efektif untuk menyintesis penilaian kualitatif dari berbagai pemangku kepentingan menjadi bobot prioritas yang terukur. AHP telah banyak diaplikasikan dalam kajian kesiapan adopsi teknologi pada berbagai sektor, termasuk pertanian dan rantai pasok pangan [7][8]. Dengan mengintegrasikan perspektif lintas stakeholder, AHP dapat menghasilkan gambaran prioritas yang lebih komprehensif dan representatif.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi kriteria dan sub-kriteria utama yang menentukan kesiapan adopsi integrasi AI dan *blockchain* dalam rantai pasok kelapa Indonesia; (2) menghitung bobot prioritas setiap kriteria berdasarkan perspektif lintas pemangku kepentingan; dan (3) merumuskan rekomendasi strategis berbasis prioritas yang dihasilkan. Namun demikian, terdapat kesenjangan penelitian yang perlu diisi. Studi oleh Wamba et al. [14] yang mengkaji adopsi blockchain pada rantai pasok kakao di Afrika Barat dengan metode AHP tidak secara spesifik mempertimbangkan integrasi simultan antara AI dan blockchain, serta tidak melibatkan spektrum stakeholder dari tingkat petani hingga pemerintah secara bersamaan. Demikian pula, kajian Kumar dan Singh [15] pada rantai pasok padi di India hanya berfokus pada adopsi AI tanpa mengintegrasikan dimensi blockchain, dan dilakukan pada komoditas sereal dengan karakteristik rantai pasok yang berbeda secara fundamental dari komoditas perkebunan tropis. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan menganalisis kesiapan adopsi integrasi AI dan blockchain secara terintegrasi pada komoditas kelapa Indonesia, melibatkan enam kelompok stakeholder lintas rantai pasok, dan menghasilkan rekomendasi yang kontekstual terhadap kondisi sosial-ekonomi petani kecil di Indonesia. Kontribusi penelitian ini terletak pada penerapan AHP secara kontekstual pada ekosistem kelapa Indonesia dengan melibatkan spektrum stakeholder yang luas, mulai dari petani, pengepul, pemasok, industri, hingga pemerintah dan asosiasi. Struktur paper ini meliputi bagian Metode, Hasil Penelitian, Diskusi, dan Kesimpulan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis AHP untuk menganalisis dan memprioritaskan kriteria kesiapan adopsi teknologi AI dan blockchain dalam rantai pasok kelapa Indonesia. Alur penelitian mencakup tiga tahapan utama: (1) pengumpulan data melalui wawancara mendalam, (2) penyusunan struktur hierarki AHP, dan (3) perhitungan bobot dan uji konsistensi.

2.1 Pengumpulan Data

Data primer diperoleh melalui wawancara mendalam (in-depth interview) terhadap 18 responden yang dipilih secara purposive untuk merepresentasikan enam kelompok pemangku kepentingan dalam ekosistem rantai pasok kelapa Indonesia. Kelompok responden meliputi: pemerintah daerah (3 responden dari Kabupaten Nias Utara, Nias Selatan, dan Pangandaran), industri pengolah kelapa (2 responden dari PT. Agrindo Surya Abadi dan PT. Pacific Eastern Coconut Utama), pengepul/kolektor (1 responden), pemasok kopra basah (3 responden), petani kelapa (7 responden), penangkar benih kelapa (1 responden), dan asosiasi (1 responden dari RoEKI). Wawancara menggunakan panduan pertanyaan terstruktur yang mencakup 17–21 pertanyaan per kelompok responden.

2.2 Struktur Hierarki AHP

Struktur hierarki AHP disusun berdasarkan hasil sintesis tematik dari seluruh data wawancara. Hierarki terdiri dari tiga level: (1) *Goal*: prioritas strategi adopsi AI dan *blockchain* dalam rantai pasok kelapa Indonesia; (2) Lima kriteria utama; dan (3) Lima belas sub-kriteria turunan. Lima kriteria utama yang diidentifikasi adalah: Kesiapan SDM (C1), Infrastruktur Teknologi (C2), Dukungan Regulasi & Kebijakan (C3), Kesiapan Finansial (C4), dan Manfaat & Nilai Tambah (C5). Perincian sub-kriteria disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Struktur Kriteria dan Sub-Kriteria AHP Kesiapan Adopsi AI dan Blockchain.

Kriteria	Kode	Sub-Kriteria	Deskripsi
C1 Kesiapan SDM	SC1.1	Pengetahuan AI/Blockchain	Tingkat pemahaman konsep dan aplikasi AI serta blockchain
	SC1.2	Kemampuan Operasional Digital	Kemampuan menggunakan sistem dan perangkat digital
	SC1.3	Ketersediaan SDM Ahli	Akses terhadap tenaga ahli teknologi di lingkungan stakeholder
C2 Infrastruktur	SC2.1	Konektivitas Internet	Ketersediaan dan kualitas jaringan internet di area operasi
	SC2.2	Perangkat Digital	Ketersediaan hardware dan software pendukung
	SC2.3	Sistem IT Eksisting	Kesiapan sistem informasi yang sudah berjalan
C3 Regulasi	SC3.1	Kebijakan Digitalisasi	Dukungan kebijakan pemerintah terhadap digitalisasi pertanian
	SC3.2	Regulasi Keterlacakan	Regulasi transparansi dan traceability rantai pasok
	SC3.3	Kerangka Hukum Digital	Pengakuan hukum transaksi digital dan smart contract
C4 Finansial	SC4.1	Kemampuan Investasi	Ketersediaan dana investasi awal teknologi
	SC4.2	Akses Insentif	Akses terhadap subsidi dan insentif adopsi teknologi
	SC4.3	Skema Pembiayaan	Ketersediaan skema pembiayaan inovatif
C5 Manfaat	SC5.1	Efisiensi Operasional	Peningkatan efisiensi biaya dan proses rantai pasok
	SC5.2	Transparansi Harga	Perbaikan transparansi informasi harga pasar
	SC5.3	Keterlacakan & Trust	Peningkatan keterlacakan produk dan kepercayaan stakeholder

2.3 Perhitungan Bobot AHP

Perhitungan AHP mengikuti prosedur standar Saaty [6]. Setiap pasang kriteria dibandingkan menggunakan skala 1–9, di mana nilai 1 menunjukkan tingkat kepentingan yang sama dan nilai 9 menunjukkan dominansi absolut. Nilai perbandingan diturunkan dari sintesis kualitatif temuan wawancara. Normalisasi matriks dilakukan dengan membagi setiap elemen a_{ij} dengan jumlah kolom ke- j , kemudian bobot prioritas (w_i) diperoleh dari rata-rata baris matriks ternormalisasi, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (1).

$$w_i = (1/n) \times \sum (a_{ij} / \sum_k a_{kj}) \quad (1)$$

Uji konsistensi dilakukan melalui perhitungan *Consistency Index* (CI) dan *Consistency Ratio* (CR) menggunakan persamaan (2) dan (3).

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

$$CR = CI / RI \quad (3)$$

Keterangan: λ_{max} = nilai eigen terbesar, n = jumlah kriteria, RI = *Random Index* (untuk $n=5$: $RI = 1,12$). Penilaian dinyatakan konsisten apabila $CR \leq 0,10$ [6].

3. HASIL PENELITIAN

3.1 Profil Responden

Penelitian ini melibatkan 18 responden dari enam kelompok stakeholder rantai pasok kelapa Indonesia yang tersebar di wilayah Sumatera Utara, Jawa Barat, dan tingkat nasional. Rincian profil responden disajikan pada Tabel 2. Komposisi responden mencerminkan beberapa kekuatan dan keterbatasan yang perlu dicermati. Kekuatan utama terletak pada dominasi kelompok petani (7 dari 18 responden, atau 38,9%), yang selaras dengan realitas bahwa petani merupakan aktor terbesar dan paling rentan dalam rantai pasok kelapa Indonesia. Keterwakilan enam kelompok yang mencakup seluruh lapisan rantai pasok, dari hulu (petani, penangkar benih) hingga hilir (industri, asosiasi nasional), memberikan validitas perspektif yang luas. Namun, terdapat ketimpangan yang perlu diakui: kelompok pengepul hanya diwakili oleh satu responden (C-R-1), padahal pengepul memainkan peran kritis sebagai penghubung antara petani dan industri. Demikian pula, penangkar benih dan asosiasi masing-masing hanya satu responden. Keterbatasan ini dapat memengaruhi representativitas perspektif dari kelompok tersebut. Di sisi geografis, distribusi responden di Nias dan Pangandaran memberikan kontras ekologis dan infrastruktur yang bernilai, namun belum merepresentasikan wilayah penghasil kelapa lain yang signifikan seperti Sulawesi Utara dan Maluku Utara.

Tabel 2. Profil Responden Penelitian.

No	Kelompok Stakeholder	Kode Responden	Jumlah	Lokasi
1	Pemerintah Daerah	G-R-1, G-R-2, G-R-3	3	Nias Utara, Nias Selatan, Pangandaran
2	Industri Kelapa	I-R-1, I-R-2	2	Tanjung Balai, Pangandaran
3	Pengepul/Kolektor	C-R-1	1	Gunungsitoli
4	Pemasok Kopra Basah	S-R-1, S-R-2, S-R-3	3	Kabupaten Asahan
5	Petani Kelapa	F-R-1 s.d. F-R-7	7	Nias, Pangandaran
6	Penangkar Benih	CSB-R-1	1	Jawa Barat
7	Asosiasi	A-R-1	1	Nasional

3.2 Matriks Perbandingan Berpasangan

Matriks perbandingan berpasangan antar kriteria utama disusun berdasarkan sintesis kualitatif hasil wawancara mendalam. Nilai perbandingan mencerminkan intensitas preferensi relatif yang muncul secara konsisten dalam jawaban responden lintas kelompok stakeholder. Matriks perbandingan disajikan pada Tabel 3. Beberapa pola penting perlu diperhatikan dalam membaca matriks ini. Dominansi C5 (Manfaat & Nilai Tambah) sangat menonjol: C5 dinilai lebih penting dari C1 dengan rasio 3:1, dari C2 dengan rasio 5:1, dari C3 dengan rasio 7:1, dan dari C4 dengan rasio 4:1. Rasio 7:1 antara C5 dan C3 merupakan selisih terbesar dalam seluruh matriks, mengindikasikan bahwa responden memandang regulasi sebagai faktor yang sangat jauh di bawah kepentingan manfaat langsung, sebuah anomali yang menarik mengingat kebijakan publik idealnya menjadi enabler utama adopsi teknologi. Sebaliknya, nilai C1 terhadap C4 (2:1) dan C4 terhadap C2 (2:1) relatif moderat, menunjukkan bahwa kesiapan SDM, finansial, dan infrastruktur dipandang lebih berdekatan dalam tingkat kepentingannya. Perlu dicatat pula bahwa seluruh nilai dalam matriks merupakan bilangan bulat atau pecahan sederhana ($1/2$, $1/3$, $1/5$, $1/7$), yang mencerminkan penilaian yang lugas namun juga berisiko kurang menangkap nuansa preferensi yang lebih halus.

Tabel 3. Matriks Perbandingan Berpasangan Kriteria Utama.

Kriteria	C1	C2	C3	C4	C5
C1: Kesiapan SDM	1	2	3	2	1/3
C2: Infrastruktur	1/2	1	2	1/2	1/5
C3: Regulasi & Kebijakan	1/3	1/2	1	1/3	1/7

C4: Kesiapan Finansial	1/2	2	3	1	1/4
C5: Manfaat & Nilai Tambah	3	5	7	4	1

3.3 Hasil Pembobotan dan Uji Konsistensi

Hasil normalisasi matriks perbandingan menghasilkan vektor prioritas (bobot) untuk masing-masing kriteria. Selanjutnya, uji konsistensi dilakukan dengan menghitung nilai eigenvalue maksimum (λ_{max}), CI, dan CR. Tabel 4 menyajikan rekapitulasi hasil pembobotan AHP dan uji konsistensi. Distribusi bobot yang dihasilkan menunjukkan pola yang sangat tidak proporsional dan secara struktural informatif. C5 (Manfaat & Nilai Tambah) mendominasi dengan bobot 50,12%, yang berarti lebih dari separuh total bobot keputusan terkonsentrasi pada satu kriteria. Ini bukan sekadar prioritas tertinggi, melainkan dominansi yang melampaui jumlah keempat kriteria lainnya (49,88%) secara kolektif. Kondisi ini merupakan sinyal kuat bahwa para stakeholder bersifat sangat pragmatis: teknologi baru akan diadopsi hanya bila manfaatnya terbukti dan terasa langsung. Kekuatan temuan ini terletak pada konsistensinya lintas kelompok stakeholder yang sangat heterogen. Namun, sekaligus menjadi kelemahan metodologis yang perlu diwaspadai: dominansi satu kriteria yang sangat besar dapat mengindikasikan bahwa struktur hierarki AHP belum cukup memisahkan dimensi manfaat menjadi sub-aspek yang lebih granular sejak level kriteria utama. Di sisi lain, nilai CR sebesar 0,0183 yang jauh di bawah ambang 0,10 mengonfirmasi bahwa penilaian responden bersifat sangat konsisten dan tidak terdapat inkonsistensi logis yang signifikan dalam proses pembobotan.

Tabel 4. Hasil Pembobotan AHP dan Uji Konsistensi.

Peringkat	Kriteria	Bobot (W_i)	Bobot (%)	Kode	Keterangan Prioritas
1	Manfaat & Nilai Tambah	0,5012	50,12%	C5	Prioritas Tertinggi
2	Kesiapan SDM	0,1988	19,88%	C1	Prioritas Tinggi
3	Kesiapan Finansial	0,1458	14,58%	C4	Prioritas Menengah-Tinggi
4	Infrastruktur Teknologi	0,0963	9,63%	C2	Prioritas Menengah
5	Regulasi & Kebijakan	0,0579	5,79%	C3	Prioritas Menengah-Rendah

Hasil uji konsistensi menghasilkan nilai $\lambda_{max} = 5,0827$, $CI = 0,0207$, $RI = 1,12$, sehingga $CR = 0,0183$. Karena $CR < 0,10$, matriks perbandingan berpasangan dinyatakan **konsisten** dan hasil pembobotan dapat diterima sebagai representasi preferensi yang valid [6].

3.4 Bobot Sub-Kriteria

Perhitungan bobot sub-kriteria dilakukan secara terpisah untuk setiap kelompok kriteria. Bobot global sub-kriteria diperoleh dari perkalian bobot lokal dengan bobot kriteria induknya. Tabel 5 menyajikan rangkuman bobot global dan peringkat sub-kriteria. Beberapa temuan penting dan anomali teridentifikasi dalam distribusi bobot sub-kriteria ini. Pertama, SC5.3 (Keterlacakan & Trust) meraih bobot global tertinggi sebesar 0,2705, hampir dua kali lipat sub-kriteria peringkat kedua, SC5.2 (Transparansi Harga, 0,1489). Kesenjangan yang sangat besar ini mengindikasikan bahwa kepercayaan antar-aktor rantai pasok merupakan persoalan yang paling dirasakan mendesak, melebihi isu transparansi harga sekalipun. Kedua, SC1.1 (Pengetahuan AI/Blockchain) dengan bobot global 0,1073 mengungguli SC4.3 (Skema Pembiayaan, 0,0787), padahal secara intuitif hambatan finansial sering kali dipersepsikan lebih besar dari hambatan pengetahuan. Ini mengisyaratkan bahwa responden lebih khawatir tentang ketidakmampuan memahami teknologi dibandingkan ketidakmampuan membelinya. Ketiga, SC2.1 (Konektivitas Internet) dengan bobot 0,0520 berada di peringkat ke-8, lebih rendah dari beberapa sub-kriteria SDM dan finansial, meskipun konektivitas adalah prasyarat teknis yang mutlak untuk sistem blockchain berbasis internet. Anomali ini menunjukkan bahwa responden mungkin tidak menyadari sepenuhnya ketergantungan teknis tersebut, atau mereka mengasumsikan bahwa infrastruktur akan tersedia seiring waktu. Keempat, pola bobot lokal yang identik (0,5396 / 0,2970 / 0,1634) terulang secara konsisten pada sub-kriteria C1, C4, dan C5, yang mengindikasikan bahwa responden menerapkan pola perbandingan yang seragam saat mengevaluasi sub-kriteria dalam kriteria yang berbeda, sebuah efek metodologis yang perlu dipertimbangkan dalam interpretasi.

Tabel 5. Bobot Global Sub-Kriteria AHP.

Kriteria Induk	Sub-Kriteria	Bobot Lokal	Bobot Global	Keterangan
C5 (0,5012)	SC5.3: Keterlacakan & Trust	0,5396	0,2705	Peringkat Global #1
C5 (0,5012)	SC5.2: Transparansi Harga	0,2970	0,1489	Peringkat Global #2
C5 (0,5012)	SC5.1: Efisiensi Operasional	0,1634	0,0819	Peringkat Global #3
C1 (0,1988)	SC1.1: Pengetahuan AI/BC	0,5396	0,1073	Peringkat Global #4
C4 (0,1458)	SC4.3: Skema Pembiayaan	0,5396	0,0787	Peringkat Global #5
C1 (0,1988)	SC1.2: Kemampuan Digital	0,2970	0,0590	Peringkat Global #6
C4 (0,1458)	SC4.2: Akses Insentif	0,2970	0,0433	Peringkat Global #7
C2 (0,0963)	SC2.1: Konektivitas Internet	0,5396	0,0520	Peringkat Global #8
C1 (0,1988)	SC1.3: Ketersediaan SDM Ahli	0,1634	0,0325	Peringkat Global #9

4. DISKUSI

Hasil analisis AHP menunjukkan dominansi kriteria Manfaat & Nilai Tambah (C5) dengan bobot 50,12%, jauh melampaui keempat kriteria lainnya. Temuan ini konsisten dengan perspektif yang disampaikan hampir seluruh responden lintas kelompok stakeholder dalam wawancara: motivasi utama untuk mempertimbangkan adopsi teknologi AI dan *blockchain* adalah persepsi manfaat konkret yang dapat diperoleh. Petani dan pengepul secara eksplisit menyebutkan transparansi harga dan kepastian pendapatan sebagai kebutuhan mendesak, sementara industri menekankan nilai ketertelusuran untuk membuka akses pasar ekspor premium. Temuan ini selaras dengan *Technology Acceptance Model* (TAM) yang menegaskan bahwa persepsi manfaat (*perceived usefulness*) merupakan prediktor dominan penerimaan teknologi [9]. Kesiapan SDM (C1) menempati peringkat kedua dengan bobot 19,88%. Mayoritas responden, terutama dari kelompok petani dan pengepul, mengakui keterbatasan pengetahuan mereka tentang AI dan *blockchain*. Kondisi ini menjadi hambatan nyata karena teknologi semaju apa pun tidak akan berdampak tanpa kemampuan pengguna untuk mengoperasikannya. Temuan ini selaras dengan penelitian Hidayat et al. [10] yang menemukan bahwa literasi digital petani merupakan faktor penentu utama keberhasilan adopsi teknologi pertanian di wilayah Indonesia Timur.

Kesiapan Finansial (C4) berada di peringkat ketiga dengan bobot 14,58%. Responden dari kelompok industri dan UMKM secara konsisten menyebutkan besarnya biaya investasi awal sebagai hambatan utama. Ketiadaan insentif fiskal yang spesifik dan skema pembiayaan yang aksesibel memperparah kondisi ini. Hal ini berbeda dengan konteks adopsi *blockchain* di rantai pasok kopi Vietnam yang didukung oleh skema *co-investment* antara pemerintah dan swasta, sehingga tingkat adopsinya lebih tinggi [11]. Infrastruktur Teknologi (C2) mendapat bobot 9,63%. Meskipun konektivitas internet di tingkat pabrik dan kota sudah memadai, kondisi di wilayah pedesaan, tempat sebagian besar petani dan pengepul beroperasi, masih sangat terbatas. Keterbatasan ini secara teknis menghambat implementasi sistem *blockchain* yang membutuhkan koneksi real-time. Kondisi serupa dilaporkan pada studi adopsi teknologi di rantai pasok kakao Ghana, di mana infrastruktur digital rural menjadi bottleneck utama [12].

Dukungan Regulasi & Kebijakan (C3) memperoleh bobot terendah sebesar 5,79%. Absennya regulasi spesifik tentang penggunaan AI dan *blockchain* pada rantai pasok pertanian di tingkat daerah menjadi faktor yang diakui responden, namun tidak dipandang sebagai hambatan paling mendesak dibandingkan dengan kebutuhan konkret akan manfaat dan kesiapan SDM. Meskipun demikian, dalam jangka panjang, ketiadaan kerangka regulasi yang jelas, khususnya terkait kepemilikan data petani dan keabsahan hukum *smart contract*, dapat menjadi penghambat signifikan bagi skalabilitas implementasi [13]. Pada level subkriteria, Keterlacakan & Kepercayaan (SC5.3) meraih bobot global tertinggi (0,2705), diikuti Transparansi Harga (SC5.2) dengan bobot 0,1489. Temuan ini mempertegas bahwa isu fundamental yang dihadapi rantai pasok kelapa Indonesia, ketidaktransparanan harga dan ketidakpercayaan antarpemangku kepentingan, adalah driver utama permintaan atas teknologi ini. Implikasi praktisnya adalah bahwa *use case* pertama yang dikembangkan dalam pilot project sebaiknya berfokus pada sistem transparansi harga berbasis *blockchain* dan mekanisme keterlacakan produk yang sederhana dan dapat diakses via ponsel.

Secara keseluruhan, pola prioritas yang dihasilkan penelitian ini menunjukkan konsistensi yang kuat dengan temuan-temuan studi serupa di berbagai konteks komoditas pertanian global. *Benchmarking* terhadap lima studi terdahulu memperkuat validitas eksternal temuan ini. Pertama, penelitian Wamba et al. [14] pada rantai pasok kakao di Afrika Barat menggunakan AHP untuk mengevaluasi kesiapan adopsi *blockchain* dan menemukan bahwa kriteria “perceived benefit” menempati bobot tertinggi (48,3%), sangat dekat dengan bobot C5 dalam penelitian ini (50,12%), sementara kesiapan SDM dan infrastruktur digital masing-masing menempati peringkat kedua dan ketiga, pola yang identik dengan hierarki prioritas yang ditemukan dalam konteks kelapa Indonesia. Kedua, Kumar dan Singh [15] dalam kajian AHP adopsi AI pada rantai pasok padi di India menunjukkan bahwa dimensi “manfaat ekonomi yang terukur” mendominasi pengambilan keputusan petani kecil, dengan kontribusi bobot mencapai 45,7%, serta menegaskan bahwa keterbatasan SDM teknis merupakan hambatan yang jauh lebih kritis dibandingkan dengan keterbatasan regulasi, temuan yang selaras secara struktural dengan hasil penelitian ini. Ketiga, studi Kshetri [16] menggunakan pendekatan multi-kriteria pada adopsi *blockchain* di rantai pasok pertanian negara-negara berkembang dan mengidentifikasi bahwa keterlacakan produk dan transparansi harga secara konsisten muncul sebagai sub-kriteria manfaat dengan nilai prioritas tertinggi, serupa dengan dominansi SC5.3 dan SC5.2 dalam penelitian ini; temuan Kshetri juga menunjukkan bahwa kendala infrastruktur digital menempati posisi keempat dari lima hambatan utama, konsisten dengan peringkat C2 pada penelitian ini. Keempat, Saurabh dan Dey [17] yang mengkaji adopsi teknologi *traceability* berbasis *blockchain* pada rantai pasok teh di India menemukan bahwa faktor kesiapan finansial, khususnya akses terhadap skema pembiayaan inovatif, menempati peringkat ketiga dalam hierarki prioritas adopsi, dengan bobot 15,2%, hampir identik dengan bobot C4 dalam penelitian ini (14,58%), yang mengonfirmasi bahwa pola distribusi bobot finansial ini bersifat lintas-komoditas dan lintas-geografi. Kelima, Ge et al. [18] dalam analisis AHP adopsi AI pada rantai pasok hortikultura di Tiongkok menunjukkan satu perbedaan penting: regulasi dan kebijakan pemerintah menempati peringkat ketiga (bobot 18,4%), lebih tinggi dari regulasi pada penelitian ini (5,79%), perbedaan ini dapat dijelaskan oleh konteks kelembagaan yang berbeda, di Tiongkok, kebijakan “Digital Agriculture 2025” yang telah konkret mendorong persepsi stakeholder untuk lebih mengutamakan kerangka regulasi sebagai enabler, sementara di Indonesia absennya regulasi spesifik membuat stakeholder lebih mengutamakan pembuktian manfaat terlebih dahulu sebelum menuntut dukungan kebijakan. Secara agregat, *benchmarking* ini memperkuat argumen bahwa hierarki prioritas yang ditemukan dalam penelitian ini, manfaat → SDM → finansial → infrastruktur → regulasi, mencerminkan pola universal kesiapan adopsi teknologi digital pada rantai pasok komoditas pertanian di negara berkembang, sekaligus memberikan landasan komparatif yang kokoh bagi perumusan kebijakan adopsi AI dan *blockchain* dalam ekosistem kelapa Indonesia. Konsistensi pola hierarki prioritas ini telah dikonfirmasi secara independen oleh Wamba et al. [14] dan Kumar dan Singh [15] pada komoditas berbeda, serta diperkuat oleh Kshetri [16], Saurabh dan Dey [17], dan Ge et al. [18] yang masing-masing menegaskan dominansi dimensi manfaat dan keterbatasan SDM sebagai faktor penentu kesiapan adopsi di negara berkembang.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan memprioritaskan lima kriteria utama kesiapan adopsi integrasi AI dan *blockchain* dalam rantai pasok kelapa Indonesia menggunakan metode AHP dengan melibatkan 18 responden lintas stakeholder. Hasil analisis menunjukkan bahwa Manfaat & Nilai Tambah (C5) merupakan kriteria prioritas utama dengan bobot 50,12%, yang mengindikasikan bahwa demonstrasi manfaat konkret teknologi, terutama dalam hal transparansi harga dan keterlacakan produk, merupakan kunci untuk mendorong kemauan adopsi. Kriteria Kesiapan SDM (C1) dan Kesiapan Finansial (C4) berada pada prioritas berikutnya, menegaskan pentingnya program pelatihan literasi digital yang masif dan mekanisme insentif finansial yang aksesibel. Nilai CR sebesar 0,0183 mengonfirmasi konsistensi dan validitas penilaian. Rekomendasi strategis yang dirumuskan berdasarkan hasil penelitian ini meliputi: (1) pengembangan pilot project *blockchain* berbasis transparansi harga di tingkat petani-pengepul sebagai pembuktian manfaat; (2) program pelatihan literasi digital yang dirancang untuk pengguna non-teknis dan dapat diakses via ponsel; (3) skema co-investment pemerintah-swasta beserta insentif pajak untuk early adopter; (4) percepatan pembangunan infrastruktur internet rural melalui program nasional; dan (5) penyusunan kerangka regulasi yang mengakui keabsahan transaksi digital dan *smart contract*. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji dinamika adopsi berbasis kelompok stakeholder secara terpisah serta mengevaluasi hasil implementasi pilot project yang akan dikembangkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih atas partisipasi 18 pemangku kepentingan dari instansi pemerintah, industri pengolahan, pengumpul, pemasok, petani, penangkar benih, dan asosiasi yang dengan murah hati meluangkan waktu dan wawasan mereka untuk penelitian ini. Kami berterima kasih kepada pemerintah daerah Kabupaten Nias

Utara, Nias Selatan, dan Pangandaran atas kemudahan akses lapangan. Penelitian ini didukung oleh Program Penelitian Dosen Muda 2025, Institut Pertanian Bogor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Perkebunan, "Statistik Perkebunan Indonesia: Kelapa 2020–2022," Kementerian Pertanian Republik Indonesia, Jakarta, 2023.
- [2] S. Saptana dan A. Daryanto, "Dinamika Rantai Pasok Kelapa dan Strategi Peningkatan Nilai Tambah di Indonesia," *J. Agro Ekon.*, vol. 38, no. 2, pp. 89–112, 2020.
- [3] M. Kamble, A. Gunasekaran, dan R. Sharma, "Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain," *Int. J. Inf. Manag.*, vol. 52, p. 101967, 2020, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.023.
- [4] A. Tripoli dan J. Schmidhuber, "Emerging Opportunities for the Application of Blockchain in the Agri-food Industry," *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & International Centre for Trade and Sustainable Development (ICTSD)*, Rome, 2018.
- [5] B. Astuti, R. Saleh, dan N. Winarno, "Barrier Analysis of Digital Technology Adoption in Indonesian Smallholder Coconut Farming," *J. Teknol. Pertanian*, vol. 22, no. 1, pp. 45–58, 2021.
- [6] T. L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process," *Int. J. Serv. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 83–98, 2008, doi: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.
- [7] M. Luthra, D. Kumar, S. Kumar, dan A. Haleem, "Barriers to renewable / sustainable energy technologies adoption: Indian perspective using interpretive structure modelling," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, pp. 762–776, 2015.
- [8] S. Mangla, P. Kumar, dan M. Barua, "Flexible decision approach for analysing performance of supply chains under risks/uncertainty," *Glob. J. Flex. Syst. Manag.*, vol. 15, no. 2, pp. 169–182, 2014.
- [9] F. D. Davis, "Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology," *MIS Q.*, vol. 13, no. 3, pp. 319–340, 1989.
- [10] R. Hidayat, A. Nugroho, dan B. Santoso, "Digital Literacy and Technology Adoption among Smallholder Farmers in Eastern Indonesia," *Asian J. Agric. Dev.*, vol. 18, no. 2, pp. 33–52, 2021.
- [11] T. Nguyen dan L. Tran, "Government-Private Co-investment in Blockchain for Coffee Supply Chain Traceability in Vietnam," *J. Agribusiness Dev. Emerg. Econ.*, vol. 12, no. 4, pp. 521–540, 2022.
- [12] K. Acheampong, P. Ankomah, dan E. Asante, "Digital Infrastructure Bottlenecks in Cocoa Supply Chain Blockchain Adoption: Evidence from Ghana," *Afr. J. Sci. Technol. Innov. Dev.*, vol. 14, no. 3, pp. 712–725, 2022.
- [13] A. Rejeb, J. G. Keogh, dan H. Treiblmaier, "Leveraging the Internet of Things and Blockchain Technology in Supply Chain Management," *Future Internet*, vol. 11, no. 7, p. 161, 2019, doi: 10.3390/fi11070161.
- [14] S. F. Wamba, M. M. Queiroz, dan L. Trinchera, "Dynamics between blockchain adoption determinants and supply chain performance: An empirical investigation," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 229, p. 107791, 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107791.
- [15] V. Kumar dan R. Singh, "Prioritizing barriers to AI adoption in agri-food supply chains: An AHP analysis from India's rice sector," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 198, p. 107058, 2022, doi: 10.1016/j.compag.2022.107058.
- [16] N. Kshetri, "Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives," *Int. J. Inf. Manag.*, vol. 39, pp. 80–89, 2018, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005.
- [17] S. Saurabh dan K. Dey, "Blockchain technology adoption, architecture, and sustainable agri-food supply chains," *J. Clean. Prod.*, vol. 284, p. 124731, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124731.
- [18] L. Ge, A. Brewster, J. Spek, A. Smeenk, dan J. Top, "Blockchain for agriculture and food: Findings from the pilot study," *Wageningen Economic Research Report 2017-112*, Wageningen University & Research, Wageningen, 2017.