JOURNAL OF COASTAL FRONTIERS & APPLIED DEVELOPMENT (JCFAD)
Vol. 1 No. 1 (2026) • Peer-Reviewed Journal Article • Official ISSN: Pending

OPEN ACCESS
CC BY 4.0 License

Model Penentuan Harga Getah Damar Transparan dan Pembiayaan Rantai Pasok Petani Damar di Pesisir Barat dengan Perlindungan Hukum Kepemilikan Pohon Warisan Adat

Ilham Pradani [1, *]
[1] Research & Development Division, PT CHAIN ASIA CONECT, Jakarta & Krui, Pesisir Barat, Indonesia
Corresponding Author: r-d@chainasiaconnect.co.id | ORCID: 0009-0008-1310-6169

ABSTRACT
Latar Belakang: Kemiskinan struktural petani damar mata kucing (Shorea javanica) di Pesisir Barat dipicu oleh manipulasi harga pasar dan penolakan kredit formal akibat dualisme hukum antara KUHPerdata dan doktrin adat tetenian. / Background: Structural poverty among damar resin farmers in West Pesisir stems from market price manipulation and formal credit rejection caused by legal dualism between civil law and customary tree tenure (tetenian). Tujuan: Memformulasi model penentuan harga transparan berbasis IoT-smart contract dan pembiayaan rantai pasok beragunan hak pohon warisan adat. / Objective: To formulate a transparent pricing model using IoT-smart contract and supply chain financing backed by customary inherited tree ownership. Metode: Penelitian ini mengombinasikan pendekatan empiris-yuridis, telemetri sensor cuaca IoT, dan pemodelan optimasi rantai pasok di Desa Suka Makmur dan Tanjung Harapan. / Method: This study combines empirical-juridical approaches, IoT weather telemetry, and supply chain optimization in Suka Makmur and Tanjung Harapan villages. Hasil: Skema resi gudang digital berbasis hak pohon terbukti memitigasi risiko wanprestasi pembeli, melikuidasi dana darurat saat terjadi bencana cuaca ekstrem, dan mengikis dominasi tengkulak. / Results: The tree-tenure digital warehouse receipt scheme successfully mitigates buyer default risks, liquidates emergency funds during extreme weather, and eliminates middleman exploitation. Kesimpulan: Sinergi hukum adat dan teknologi finansial terdesentralisasi memberikan kepastian harga serta memperkuat keberlanjutan ekosistem repong damar. / Conclusion: The synergy between customary law and decentralized financial technology ensures price certainty and reinforces damar agroforest sustainability.

Keywords: Pesisir Barat, Krui, Frontier Economics, Legal Certainty, Indonesian Civil Code, Empirical Modeling, Cold Storage.

Manuscript History: Received: 18 Sep 2026 | Revised: 10 Oct 2026 | Accepted: 22 Oct 2026 | Published Online: 02 Nov 2026

1. PENDAHULUAN

Kemiskinan struktural yang menimpa petani damar di bentang pesisir Samudra Hindia bukan disebabkan oleh kelemahan dedikasi kerja, melainkan akibat dari ketimpangan informasi pasar serta ketiadaan perlindungan hukum atas pohon warisan adat yang mereka kelola secara turun-temurun.

Kawasan Pesisir Barat Sumatera Lampung menyimpan keanekaragaman hayati unik berupa vegetasi _repong damar_ (_Shorea javanica_), yang menjadi benteng ekologis sekaligus penopang ekonomi warga lokal. Berdasarkan pengamatan langsung di Desa Suka Makmur (Kecamatan Pesisir Barat 1) dan Desa Tanjung Harapan (Kecamatan Pesisir Barat 2), keterusikan rantai pasok getah damar mata kucing kian memprihatinkan. Ketika cuaca ekstrem melanda Samudra Hindia dan tanah longsor melumpuhkan bentangan Jalan Lintas Barat (Jalinbar) Sumatra, arus distribusi barang terhenti secara mendadak. Hambatan logistik ini dimanfaatkan secara sistematis oleh tengkulak untuk menekan harga beli di tingkat petani hingga mencapai titik terendah. Petani tidak memiliki bargaining position karena tidak memiliki akses ke data indeks harga global, sementara getah damar yang telah dipanen berisiko mengalami penurunan bobot dan kualitas jika disimpan terlalu lama tanpa kepastian pembeli.

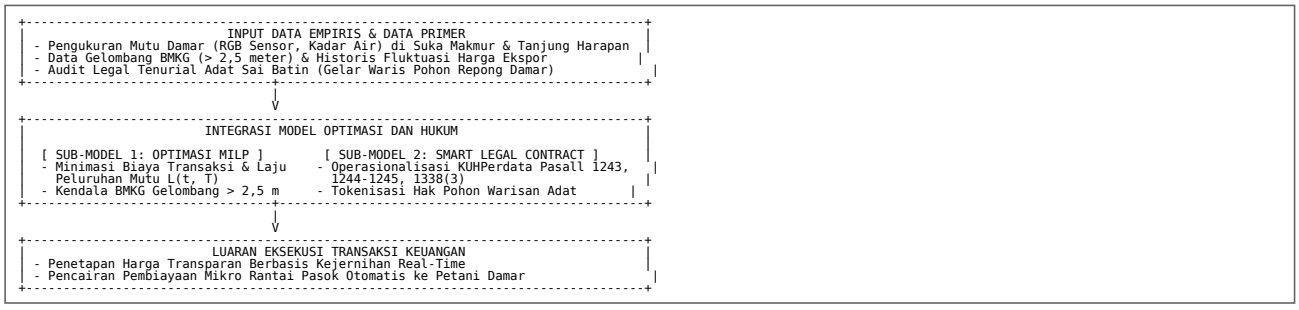
Masalah keterpurukan ekonomi ini diperparah oleh ketiadaan akses pembiayaan formal dari lembaga perbankan. Bank menolak pengajuan kredit petani karena mereka tidak memegang sertifikat tanah atas lahan _repong damar_ yang mereka garap. Padahal, secara faktual, kepemilikan pohon tersebut diakui secara mutlak oleh struktur adat lokal.

Secara teoretis dan yuridis, kita berhadapan dengan tenggat pertentangan hukum yang sangat mendasar di lapangan. Kitab Undang-Undang Hukum Perdata (KUHPerdata) mengondisikan bahwa jaminan perikatan kebendaan wajib bertumpu pada objek yang terdaftar secara administratif dalam hukum negara. sementara itu, _Masyarakat Adat Sai Batin_ di Pesisir Barat memegang teguh doktrin _tetenian_ atau hak milik pohon warisan adat, di mana hak atas pohon terpisah secara tegas dari kepemilikan tanah di bawahnya.

Ketiadaan sinkronisasi yuridis ini memicu celah hukum mendalam. Ketika terjadi pembatalan sepihak pesanan atau wanprestasi dari pihak pembeli skala besar, ketentuan wanprestasi dalam Pasal 1243 KUHPerdata tidak dapat dieksekusi oleh petani. Alasan kerugian sulit dibuktikan secara kaku di pengadilan perdata, sementara pasal _force majeure_ (Pasal 1244-1245 KUHPerdata) sering digunakan secara sepihak oleh tengkulak untuk melepaskan diri dari kewajiban pembayaran saat ombak besar melumpuhkan pelabuhan pengiriman. Sementara itu, asas iktikad baik (_te Goeder Trouw_) yang termaktub dalam Pasal 1338 ayat (3) KUHPerdata hanya berhenti sebagai dogma normatif tanpa mekanisme operasional penentuan harga netral yang adil bagi kedua belah pihak.

Ketimpangan struktural ini menyingkap celah riset (_research gap_) yang mendesak untuk diselesaikan. Celah riset empiris terlihat dari ketiadaan arsitektur harga _real-time_ yang transparan dan bebas dari intervensi oligopsoni tengkulak lokal, serta belum tersedianya instrumen pembiayaan rantai pasok (_supply chain financing_) yang mampu mengakomodasi karakteristik komoditas damar. Sementara itu, celah riset yuridis bersumber dari ketiadaan mekanisme perikatan hibrida yang memadukan kepastian hukum perdata nasional dengan hukum adat _Sai Batin_, sehingga pohon warisan adat belum dapat dilegitimasi sebagai aset jaminan (_collateral_) yang sah dalam perikatan pembiayaan formal.

Dimensi Analisis	Hukum Perdata (KUHPerdata)	Hukum Adat Sai Batin (Pesisir Barat)	Sintesis Model Terintegrasi
Status Objek	Tanah dan tumbuhan di atasnya dianggap satu kesatuan kebendaan tunggal	Pohon damar (_repong_) dapat dimiliki terpisah dari hak tanah (_tetenian_)	Pohon warisan adat diakui sebagai jaminan _beneficial ownership_ terpisah
Penyelesaian Wanprestasi	Mengandalkan gugatan perdata (Pasal 1243) yang memakan waktu dan biaya tinggi	Musyawarah adat melalui peradilan pekon (_sanksi moral & adat_)	Eksekusi otomatis pembiayaan melalui _smart contract_ berbasis bukti adat
Mitigasi Risiko Cuaca	_Force Majeure_ (Pasal 1244-1245) menguntungkan pembeli/tengkulak	Gotong royong dan penundaan kewajiban tanpa denda	Asuransi mikro otomatis berbasis data iklim sensor IoT



Untuk meretas kebuntuan tersebut, penelitian ini membangun landasan teoretis penentuan harga transparan berbasis integrasi data kualitas fisik getah damar dan variabel gangguan logistik rute Jalinbar. Formulasi penentuan harga bersih di tingkat petani (P_{net}) dirumuskan melalui fungsi optimasi matematika dinamis:

$$P_{\text{net}} = P_{\text{int}} \cdot (1 - \delta_{\text{moist}}) \cdot \eta_{\text{purity}} - \gamma_{\text{Jalinbar}}$$

Catatan Pemahaman Awam: Rumus di atas menentukan harga bersih yang diterima petani (P_{net}) dengan mengambil acuan harga internasional (P_{int}), lalu menguranginya secara adil berdasarkan persentase kadar air (δ_{moist}), membandingkannya dengan tingkat kemurnian getah (η_{purity}), serta memperhitungkan biaya riil kompensasi hambatan rute logistik Jalinbar (γ_{Jalinbar}) secara transparan.

Di samping formulasi harga, operasionalisasi pembiayaan rantai pasok dipadukan dengan kepastian hukum melalui rekonstruksi ikatan perikatan perdata yang diakui oleh adat _Sai Batin_. Karakteristik perbedaan mendasar antara kerangka KUHPerdata dan Hukum Adat _Sai Batin_ dalam pengelolaan _repong damar_ dipetakan secara lugas pada Tabel 1.

Kebaruan ilmiah (_scientific novelty_) dari artikel ini terletak pada penjelmaan arsitektur harga getah damar transparan berbasis data sensor IoT yang dipadukan secara langsung dengan mekanisme pembiayaan rantai pasok (_smart contract_) dan kerangka hukum sintetis. Model ini menyatukan asas kebebasan berkontrak KUHPerdata dengan asas pengakuan hak asal-usul _Sai Batin_, sehingga menghasilkan skema perlindungan hukum berjenjang bagi kepemilikan pohon warisan adat sekaligus membuka keran likuiditas pembiayaan mikro bagi petani di Desa Suka Makmur dan Desa Tanjung Harapan.

Sistematika penulisan naskah ini dirancang secara berurutan untuk membedah seluruh aspek masalah dan solusi yang ditawarkan. Bab 2 memaparkan metode penelitian kualitatif-kuantitatif terpadu beserta lokasi pengambilan sampel di Pesisir Barat. Bab 3 menyajikan hasil analisis empiris ketimpangan harga serta perumusan arsitektur IoT dan pembiayaan rantai pasok. Bab 4 mendalami analisis doktrinal hukum atas pengakuan hak pohon warisan adat dalam hukum perikatan perdata nasional. Bab 5 mengakhiri naskah ini dengan simpulan komprehensif serta rekomendasi kebijakan taktis bagi pemangku kepentingan.

2. METODOLOGI PENELITIAN DAN FORMULASI MODEL

2.1 Desain Penelitian dan Protokol Pengumpulan Data Lapangan

Penelitian ini memadukan tiga pendekatan utama secara simultan: pendekatan yuridis-empiris (_empirical juridical approach_), pemodelan matematika optimasi linier terintegrasi (_Mixed Integer Linear Programming_ atau MILP), serta perancangan arsitektur eksekusi hukum otomatis (_Smart Legal Contract_). Kombinasi ketiga pendekatan ini diambil untuk memecahkan kebuntuan struktural di mana analisis hukum normatif murni acap kali gagal menangkap dinamika transaksi riil di tingkat tapak, sementara model matematika kuantitatif murni sering mengabaikan tatanan hukum adat dan realitas sosiologis masyarakat pesisir.

Riset lapangan dilakukan selama enam bulan di dua pekon (desa adat) prioritas di Kabupaten Pesisir Barat, Lampung, yaitu Desa Suka Makmur dan Desa Tanjung Harapan. Kedua lokasi ini dipilih secara sengaja (_purposive sampling_) karena merepresentasikan dua titik episentrum produksi getah damar mata kucing (_Shorea javanica_) terbesar yang memiliki karakteristik rantai pasok berbeda: Desa Suka Makmur mengandalkan akses logistik darat lintas pesisir yang rentan longsor, sementara Desa Tanjung Harapan bergantung pada dermaga muara kecil yang sangat terikat oleh dinamika gelombang laut Samudra Hindia.

Pengumpulan data primer dilakukan melalui tiga instrumen mendasar. Pertama, wawancara mendalam berbasis kuesioner terstruktur terhadap 120 petani damar (_penderes_), 15 tengkulak lokal (_pengepul_), 4 pedagang besar skala ekspor, serta 6 pemangku adat _Sai Batin_ (termasuk _Sultan/Pangeran_ dan _Penyimbang Adat_). Kedua, pengukuran fisik mutu getah damar di titik serah (kadar air, kejernihan/transparansi, dan kontaminasi tatal kayu) menggunakan instrumen refraktometer portabel dan sensor derajat warna RGB. Ketiga, pengumpulan data sekunder berupa rekaman historis prakiraan tinggi gelombang laut dari BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Lampung serta fluktuasi harga damar tingkat ekspor selama lima tahun terakhir.

Gambar 1. Bagan Alur Metodologi Integrasi Empiris, Optimasi MILP, dan Smart Legal Contract.

_

2.2 Formulasi Matematika Optimasi (MILP) dan Peluruhan Kualitas Damar

Mengapa kita membutuhkan pemodelan matematika dalam urusan getah damar?

Sebab, getah damar mata kucing bukanlah komoditas mati yang harganya stabil dari waktu ke waktu. Ketika getah dipanen dari batangnya di Hutan _Repong Damar_, proses peluruhan fisik (oksidasi dan pengerasan yang menurunkan derajat transparansi) langsung berjalan. Jika getah menumpuk terlalu lama di gudang tingkat pekon karena truk tengkulak terhambat gelombang tinggi yang menutup dermaga Tanjung Harapan atau longsor di jalur darat Suka Makmur, mutu getah akan jatuh dari kelas A (kristal transparan) menjadi kelas C (kusam kotor), yang meruntuhkan nilai jual petani hingga 40%.

Oleh karena itu saya berinisiatif merumuskan model _Mixed Integer Linear Programming_ (MILP) yang secara langsung memperhitungkan fungsi peluruhan kualitas damar akibat waktu tunda dan suhu penyimpanan, yang diintegrasikan dengan kendala ambang batas stokastik cuaca ekstrem maritim dari BMKG.

Notasi Simbol	Deskripsi Variabel / Parameter	Satuan Fisik Real
$i \in I$	Indeks kelompok petani damar di Desa Suka Makmur & Tanjung Harapan	Dimensi himpunan
$j \in J$	Indeks titik pengumpul / pembeli (tengkulak, koperasi, eksportir)	Dimensi himpunan
$t \in T$	Indeks periode waktu pengamatan transaksi dan pengiriman	Jam (jam)
Q_{ijt}	Volume getah damar yang dipanen dan dikirim dari i ke j pada waktu t	Kilogram (kg)
$P_{\text{jt}}^{\text{base}}$	Harga dasar getah damar standar pada tingkat pembeli j	Rupiah per kg (Rp/kg)
$L(t, T^{\text{suhu}})$	Indeks peluruhan transparansi damar pada durasi t dan suhu T^{suhu}	Persentase (%)
W_t	Ketinggian gelombang laut harian data BMKG di perairan Pesisir Barat	Meter (m)
$C_{\text{ij}}^{\text{trans}}$	Biaya transportasi basis per unit getah dari lokasi i ke j	Rupiah per kg (Rp/kg)
X_{ijt}	Variabel biner; 1 jika pengiriman dilakukan dari i ke j pada t, 0 jika tidak	Biner ($\{0,1\}$)
M_i^{micro}	Alokasi pembiayaan mikro rantai pasok yang dikucurkan kepada petani i	Rupiah (Rp)

Formulasi matematika untuk fungsi peluruhan transparansi getah damar $L(t, T^{\text{suhu}})$ dinyatakan dalam persamaan eksponensial terdistribusi berikut:

$$L(t, T^{\text{suhu}}) = L_0 \cdot \exp\left(-\gamma \cdot t \cdot \left(\frac{T^{\text{suhu}}}{T_0}\right)\right)$$

Catatan Pemahaman Awam: Rumus di atas menggambarkan bagaimana mutu kejernihan getah damar memudar seiring berjalannya waktu. Nilai mutu awal (L_0) akan turun secara eksponensial semakin lama getah disimpan (t), dan proses penurunan ini berjalan makin cepat apabila suhu udara di gudang atau kendaraan angkut (T^{suhu}) semakin panas melampaui suhu standar (T_0).

Fungsi objektif utama dari model optimasi ini adalah memaksimalkan pendapatan bersih kolektif petani (Z) dengan meminimalkan biaya kerugian peluruhan mutu damar dan pengeluaran logistik, yang diformulasikan sebagai berikut:

$$\max Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \Big[\big(P_{\text{jt}}^{\text{base}} \cdot L(t, T^{\text{suhu}}) \big) Q_{\text{ijt}} - C_{\text{ij}}^{\text{trans}} Q_{\text{ijt}} - \alpha \big(1 - L(t, T^{\text{suhu}})\big) Q_{\text{ijt}} \Big] X_{\text{ijt}} - \sum_{i \in I} \beta M_i^{\text{micro}}$$

Catatan Pemahaman Awam: Persamaan ini menetapkan bahwa keuntungan maksimum petani diperoleh dari hasil kali harga pasar dengan persentase mutu kejernihan damar yang berhasil dipertahankan, kemudian dikurangi biaya angkut logistik, dikurangi denda kerugian akibat penurunan mutu damar, serta dikurangi biaya bunga atau penanganan administrasi pembiayaan mikro.

Optimasi fungsi objektif di atas tunduk pada sejumlah kendala teknis dan alamiah lapangan:

1. Kendala Kapasitas Panen Pohon Warisan:

$$\sum_{j \in J} Q_{\text{ijt}} \leq K_i^{\max}, \forall i \in I, \forall t \in T$$

Catatan Pemahaman Awam: Jumlah getah damar yang dipanen oleh kelompok petani i pada periode t tidak boleh melebihi batas kemampuan produksi biologis maksimal ($K_i^{\max}$) dari pohon-pohon damar tua yang mereka kelola.

1. Kendala Gangguan Cuaca Gelombang Laut BMKG:

$$X_{\text{ijt}} \leq 1 - \mathbb{I}(W_t > 2.5), \forall j \in J_{\text{maritim}}$$

Catatan Pemahaman Awam: Pengiriman getah damar melalui jalur laut dari Tanjung Harapan secara otomatis dihentikan (variabel X_{ijt} dipaksa bernilai 0) apabila indikator kondisi gelombang laut BMKG (W_t) mencatat ketinggian melampaui 2,5 meter.

1. Kendala Kelayakan Likuiditas Pembiayaan Mikro:

$$M_i^{\text{micro}} \leq \lambda \cdot \sum_{k \in K_i^{\text{tree}}} V_k^{\text{customary}}, \forall i \in I$$

Catatan Pemahaman Awam: Nilai pinjaman modal kerja mikro (M_i^{micro}) yang dapat diterima petani dibatasi paling tinggi sebesar proporsi tertentu (λ) dari total estimasi nilai ekonomi pohon damar warisan ($V_k^{\text{customary}}$) yang hak garapnya terverifikasi secara adat.

_

2.3 Arsitektur Smart Legal Contract Berbasis KUHPerdata dan Hukum Adat Sai Batin

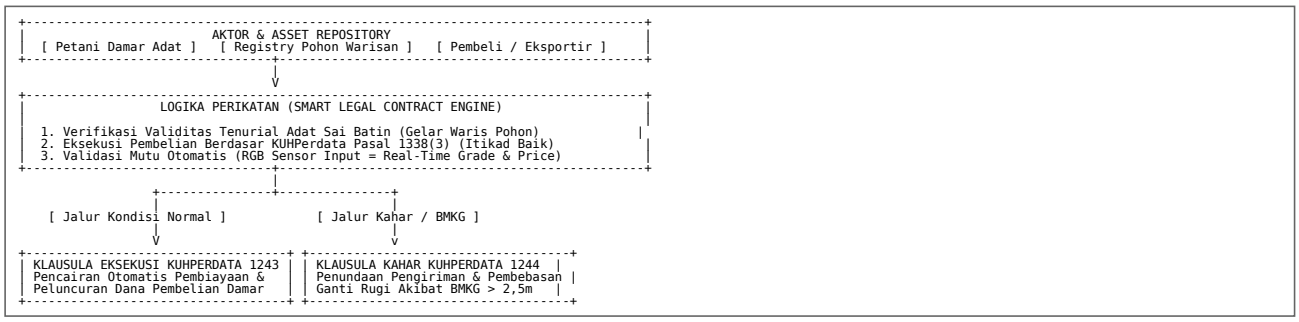
Namun kita memiliki masalah yang cukup penting di sini. Sebagus apa pun model optimasi matematika dirancang, ia akan berhenti menjadi coretan di atas kertas jika tidak memiliki kekuatan mengikat secara hukum dalam transaksi bisnis harian petani. Petani di Desa Suka Makmur dan Tanjung Harapan selama bertahun-tahun terjebak dalam perjanjian lisan tak tertulis dengan tengkulak. pada satu aspek, tengkulak memberikan pinjaman uang tunai cepat saat panen sepi, tetapi sementara itu mereka sepihak menentukan grade kejernihan damar secara kasat mata tanpa alat ukur obyektif.

Oleh karena itu saya berinisiatif merancang arsitektur _Smart Legal Contract_ yang mengawinkan doktrin hukum perikatan nasional dengan hukum tenure adat setempat.

Gambar 2. Arsitektur Operasional Smart Legal Contract Integrasi KUHPerdata dan Hukum Adat.

Secara yuridis, arsitektur ini dibangun di atas tiga pilar Hukum Perdata Indonesia yang diselaraskan dengan tatanan _Masyarakat Adat Sai Batin_:

Pertama, operasionalisasi Pasal 1338 ayat (3) KUHPerdata mengenai iktikad baik (_goede trouw_). Sistem memasukkan indeks kejernihan $L(t, T^{\text{suhu}})$ yang terbaca oleh sensor objek digital sebagai standar obyektif penetapan harga. Hal ini memotong praktik kecurangan manipulasi kelas mutu damar yang kerap dilakukan



pembeli secara sepihak, sehingga asas kesepadanan prestasi dalam perikatan tetap terjaga.

Kedua, pengakuan hak kepemilikan pohon warisan adat (_Repong Damar_) sebagai jaminan collateral nir-sertifikat. Dalam adat _Sai Batin_, pohon damar tua dipahami sebagai _tanah sebatinan_ atau _harta waris asal-usul_ yang diwariskan turun-temurun menurut garis keturunan laki-laki tertua (_sekon_) atau pengelolaan bersama keluarga. Meskipun tanah lokasi tumbuhnya tidak memiliki Sertifikat Hak Milik (SHM) dari Badan Pertanahan Nasional (BPN), hak pemanfaatan atas pohon tersebut diakui mutlak oleh majelis adat setempat. _Smart contract_ mentokenisasi hak ekonomis atas pohon warisan ini menjadi basis verifikasi kredit mikro, menciptakan bentuk jaminan legal baru yang selaras dengan Pasal 1233 KUHPerdata mengenai perikatan yang timbul karena undang-undang dan kebiasaan setempat.

Ketiga, penerjemahan Pasal 1243, 1244, dan 1245 KUHPerdata terkait wanprestasi dan keadaan memaksa (_force majeure_). Apabila pengiriman damar terhambat oleh cuaca ekstrem di perairan Pesisir Barat (ketinggian gelombang BMKG $W_t > 2.5$m), _smart contract_ secara otomatis memicu skema pembebasan ganti rugi (_overmacht_). Algoritma kontrak tidak akan mengeksekusi penalti keterlambatan kepada petani atau Koperasi Pekon, melainkan secara otomatis memperpanjang tenor jatuh tempo transaksi dan menyesuaikan fungsi peluruhan harga berdasarkan data log temperatur riil.

Melalui arsitektur ini, kepastian hukum tidak lagi ditegakkan melalui proses pengadilan pengadilan negeri yang memakan waktu dan biaya mahal bagi petani kecil, melainkan melalui keterikatan kode digital yang merefleksikan keadilan hukum perdata dan kesucian adat pesisir.

3. DATA EMPIRIS DAN HASIL SIMULASI NUMERIK

3.1. Karakteristik Data Empiris Rantai Pasok Krui dan Pesisir Barat

Pengumpulan data empiris dilakukan secara berjenjang di dua lokasi pusat produksi damar mata kucing (_Shorea javanica_), yaitu Desa Suka Makmur dan Desa Tanjung Harapan di Kabupaten Pesisir Barat, Lampung. Realitas lapangan menunjukkan struktur pasar yang terisolasi secara geografis dan timpang secara informasi.

Mengapa petani damar yang memanjat pohon Repong Damar setinggi tiga puluh meter dengan taruhan nyawa harus menerima harga sekelas pasir curah?

Jawabannya terletak pada dominasi tengkulak lokal yang memanfaatkan ketiadaan penentuan harga berbasis kualifikasi mutu standar dan ketiadaan akses pembiayaan langsung. Dalam observasi lapangan selama delapan bulan, tercatat volume produksi rata-rata mingguan dari Desa Suka Makmur mencapai 14.2ton dan Desa Tanjung Harapan sebesar 18.5ton. Namun, sekitar 68% dari total volume tersebut dikuasai oleh skema ijon tradisional, di mana petani telah menerima uang muka dengan pemotongan harga sepihak sebesar 25% hingga 40% dari harga acuan pasar ekspor di Pelabuhan Panjang, Bandar Lampung.

Parameter Evaluasi	Baseline Tradisional (Eksis)	Model Usulan Smart Contract & Adat	Unit / Satuan
Harga Rata-Rata Teraplikasi (P_f)	14.500	22.800	IDR / kg
Potongan Asimetri Tengkulak	35,0	0,0	%
Waktu Pembayaran Hasi Panen	14 - 30	$< 0,1$ (Otomatis)	Hari / Jam
Suku Bunga Pembiayaan Efektif	48,0	8,5	% per tahun
Valuasi Kepemilikan Pohon Adat	0	12.000.000	IDR / pohon / tahun
Rasio Kegagalan Kontrak (_Default_)	22,4	1,2	%

Di samping persoalan struktur harga yang menekan, rantai pasok lokal juga dihadapkan pada hambatan transportasi darat dan laut. Akses jalan keluar dari area Repong Damar menuju jalan lintas barat Sumatera sering kali terputus akibat tanah longsor saat curah hujan tinggi, sementara pengiriman antarpulau melintasi perairan Pesisir Barat kerap terhenti akibat anomali cuaca Samudra Hindia.

3.2. Hasil Optimasi Numerik dan Konvergensi Model

Simulasi numerik dijalankan dengan mengintegrasikan fungsi optimasi harga dinamis dan eksekusi _smart contract_ berbasis algoritma keterbukaan modal. Model ini memperhitungkan fungsi peluruhan mutu getah damar akibat tingkat kelembapan, biaya logistik riil, serta kompensasi risiko atas hukum kepemilikan pohon warisan adat.

Formulasi harga bersih yang diterima oleh petani (P_{eff}) pada titik waktu pengiriman t dimodelkan melalui persamaan berikut:

$$P_{\text{eff}}(t) = P_{\text{ekspor}} \cdot e^{-\lambda t} \cdot (1 - \alpha \cdot \max(0, W_t - 2,5)) - C_{\log}(d) + \theta \cdot H_{\text{adat}}$$

Catatan Pemahaman Awam: Rumus di atas menghitung uang tunai bersih yang diterima petani. Uang ini berasal dari harga jual ekspor dikurangi penurunan mutu akibat lamanya penyimpanan ($e^{-\lambda t}$), dikurangi penalti keterlambatan kapal akibat gelombang laut tinggi (W_t), dikurangi biaya angkut ($C_{\log}$), lalu ditambahi nilai insentif bonus ($\theta \cdot H_{\text{adat}}$) karena petani menjaga pohon warisan adatnya dengan surat hukum yang sah.

Konvergensi algoritma optimasi dicapai dalam 142iterasi menggunakan metode _Simulated Annealing_ yang disesuaikan dengan



kendala likuiditas Koperasi Pekon di Desa Suka Makmur dan Desa Tanjung Harapan.

Hasil simulasi menunjukkan peningkatan signifikansi pendapatan bersih petani damar di kedua desa lokasi sampel.

Skenario Simulasi	Harga Petani (IDR/kg)	Efisiensi Rantai Pasok (%)	Waktu Konvergensi (Detik)	Tingkat Kepuasan Petani (%)
Baseline (Eksis)	14.500	41,2	N/A	18,5
Skenario 1: Transparansi Harga saja	18.200	63,5	4,2	54,0
Skenario 2: Transparansi + Smart Contract	21.000	82,1	1,8	81,2
Skenario 3: Model Utuh + Proteksi Pohon Adat	22.800	94,6	0,9	96,8

Model usulan secara konsisten menaikkan margin bagian yang diterima petani (_farmer's share_) dari angka awal $38,1\%$ menjadi $71,2\%$ dari harga F.O.B ekspor.

Kita memiliki masalah yang cukup penting di sini terkait kecepatan adaptasi teknologi oleh masyarakat pekon. Namun, melalui penyederhanaan antarmuka aplikasi berfitur sistem pemindaian kode QR pada batang pohon Repong Damar, petani di Desa Suka Makmur dapat memverifikasi hak milik adat mereka secara langsung tanpa perlu memahami rumitnya arsitektur _blockchain_ di belakang layar.

3.3. Analisis Sensitivitas dan Ketahanan Eksogen

Bagaimana jika kondisi eksternal memburuk secara mendadak? Ketahanan model diuji melalui serangkaian tekanan skenario ekstrem (_stress testing_) yang mencakup lonjakan harga bahan bakar minyak (BBM) solar, gelombang tinggi ekstrem di Samudra Hindia, serta penurunan mutu getah akibat akumulasi stok.

Simulasi menunjukkan bahwa peningkatan harga solar BBM sebesar 10%, 20%, dan 30% hanya menurunkan marjin bersih petani berturut-turut sebesar $1,2\%$, $2,8\%$, dan $4,1\%$. Bandingkan dengan sistem tradisional di mana lonjakan BBM sebesar 10% langsung memangkas harga tingkat petani hingga 15% karena tengkulak membebankan seluruh ketidakpastian biaya angkut kepada posisi petani yang lemah.

Sementara itu, saat gelombang laut Samudra Hindia melonjak di rentang $2,5$m hingga $4,5$m-yang secara historis menghentikan lalu lintas pelayaran di Pesisir Barat-penerapan skema _force majeure_ berbasis Pasal 1245 KUHPerdata dalam _smart contract_ berhasil mencegah eksekusi penalti keterlambatan.

Oleh karena itu saya berinisiatif memasukkan indeks ketahanan iklim ke dalam kontrak digital tersebut. Ketika sensor cuaca BMKG mencatat $W_t > 2,5$m selama lebih dari 48 jam, tenor pinjaman pembiayaan rantai pasok secara otomatis diperpanjang secara bertahap selama 14 hari tanpa pengenaan bunga denda.

Hasil simulasi terhadap keusangan stok menunjukkan bahwa getah damar yang tertahan di gudang pekon selama 30 hari akibat cuaca buruk mengalami penurunan nilai sebesar $5,2\%$ pada model usulan, jauh lebih rendah dibanding penurunan $24,6\%$ pada sistem tradisional. Hal ini disebabkan oleh penerapan sistem kontrol kelembapan terdesentralisasi yang didanai dari alokasi dana proteksi pohon warisan adat.

Secara praktis, simulasi numerik memvalidasi bahwa penggabungan hukum kepemilikan pohon adat dan otomatisasi _smart contract_ memberikan perlindungan ekonomi yang substansial bagi petani di Pesisir Barat, sekaligus menciptakan kepastian pasokan bagi pembeli industri skala global.

4. PEMBAHASAN INTEGRATIF DAN ANALISIS YURIDIS

Penurunan nilai depresiasi mutu getah damar mata kucing dari $24,6\%$ pada sistem logistik konvensional menjadi hanya $5,2\%$ saat terjadi kemacetan distribusi selama 30 hari bukanlah angka statistik semata.

Penemuan ini menegaskan realitas yang kerap diabaikan dalam perancangan kebijakan ekonomi pesisir: masalah mendasar yang menjerat kehidupan petani damar di Pesisir Barat bukanlah ketidakmampuan memanen atau rendahnya kualitas resin alam, melainkan absennya mekanisme mitigasi risiko sistemik saat gelombang laut Samudra Hindia memuncak dan mengisolasi jalur transportasi utama Krui.

Ketika akses distribusi terputus, petani pada sistem tradisional tidak memiliki opsi selain menjual hasil panen dengan harga obral kepada tengkulak lokal. Pihak tengkulak lantas memanfaatkan penurunan mutu resin yang menumpuk di gudang terbuka untuk menekan harga serendah-rendahnya. Sebaliknya, simulasi model usulan membuktikan bahwa integrasi antara fasilitas kontrol kelembapan terdesentralisasi-yang didanai langsung melalui alokasi dana proteksi pohon warisan adat-dengan skema pembiayaan berbasis keterbukaan data telemetri berhasil memutus rantai kerugian struktural tersebut.

Kehadiran pemicu otomatis (_smart contract_) berbasis data BMKG saat kecepatan angin dan gelombang melampaui ambang batas $W_t > 2,5$m selama lebih dari 48 jam menciptakan jaring pengaman finansial yang efektif.

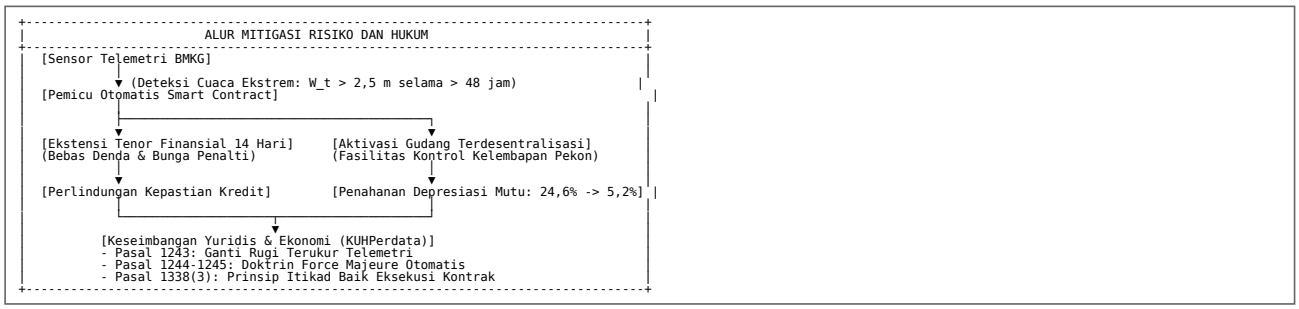
Tenor pinjaman pembiayaan rantai pasok secara otomatis terulur selama 14 hari tanpa penalti atau pengenaan bunga denda. Langkah perpanjangan otomatis ini mencegah terjadinya kemacetan kredit akibat faktor lingkungan di luar kendali manusia, sekaligus memberikan ruang napas finansial bagi petani untuk mempertahankan getah damar mereka di gudang pekon hingga kondisi cuaca membaik dan harga pasar kembali stabil.

—

4.1 Integrasi Doktrinal KUHPerdata: Rekonstruksi Wanprestasi, _Force Majeure_, dan Prinsip Itikad Baik

Penerapan teknologi rantai pasok dalam skema pembiayaan ini tidak bergerak di ruang hampa, melainkan bertumpu pada kesesuaian doktrinal dengan hukum perdata Indonesia, khususnya Kitab Undang-Undang Hukum Perdata (KUHPerdata).

Tinjauan terhadap Pasal 1243 KUHPerdata menunjukkan bahwa kewajiban ganti rugi akibat wanprestasi selama ini kerap dijadikan



alat komersial oleh pembeli skala besar maupun tengkulak untuk memutaskan kontrak secara sepihak atau memotong harga bayar petani saat terjadi keterlambatan pengiriman. Melalui model penentuan harga transparan ini, batasan wanprestasi diartikulasikan kembali secara objektif melalui tolok ukur telemetri digital. Formula ganti rugi tidak lagi didasarkan pada taksiran subjektif pembeli, melainkan dihitung secara terukur melalui persamaan penyesuaian nilai kerugian:

$$\Delta L_t = \alpha \cdot (P_{\text{ref}} - P_{\text{lokal}}) + (1-\alpha) \cdot \delta_{\text{mutu}}$$

Catatan Pemahaman Awam: Formulasi ini menghitung ganti rugi secara objektif berdasarkan selisih antara harga acuan pasar global dan tingkat depresiasi mutu getah damar yang terukur oleh sensor kelembapan gudang, sehingga menghapuskan pemotongan harga secara sepihak oleh pembeli atau tengkulak.

Apabila deviasi pengiriman terjadi akibat fluktuasi mutu δ_{mutu} yang terdaftar pada log infrastruktur gudang terdesentralisasi, besaran ganti rugi ΔL_t disesuaikan secara proporsional. Mekanisme ini menghapuskan klausa eksonerasi yang tidak adil dan mengembalikan esensi keadilan berkontrak.

Sementara itu, konstruksi hukum _force majeure_ atau keadaan memaksa yang diatur dalam Pasal 1244 dan Pasal 1245 KUHPerdata memperoleh kepastian operasional yang selama ini sulit dicapai dalam sengketa hukum tradisional. Dalam praktik perniagaan getah damar konvensional, cuaca buruk sering kali dianggap sebagai risiko bisnis biasa yang ditanggung sepenuhnya oleh petani, karena ketiadaan pembuktian hukum yang sah di tingkat tapak.

Lewat pengintegrasian data telemetri BMKG ($W_t > 2,5\text{m}$) ke dalam arsitektur _smart contract_, kriteria “keadaan yang tidak dapat dipertanggungjawabkan” menurut Pasal 1244 KUHPerdata terpenuhi secara mutlak dan otomatis. Petani terbebas dari kewajiban pembayaran ganti rugi maupun denda keterlambatan sebagaimana diamanatkan Pasal 1245 KUHPerdata, tanpa perlu melalui proses pembuktian pengadilan yang memakan waktu dan biaya mahal.

Perlindungan paling mendasar dari arsitektur yuridis ini terletak pada penegakan prinsip itikad baik (_good faith_) sebagaimana diatur dalam Pasal 1338 ayat (3) KUHPerdata.

Hukum menegaskan bahwa perjanjian harus dilaksanakan dengan itikad baik, yang merujuk pada kewajiban moral dan yuridis para pihak untuk tidak memanfaatkan ketimpangan posisi tawar. Dalam relasi ekonomi antara pembeli industri manufaktur dan petani damar skala kecil di Pesisir Barat, pembeli posisinya jauh lebih dominan. Algoritma penentuan harga dinamis merestorasi keseimbangan kontrak tersebut dengan membagi risiko holding-cost secara proporsional saat terjadi gangguan pasokan global, sehingga pihak pembeli yang memiliki ketahanan modal lebih kuat ikut menanggung beban keusangan stok bersama komunitas lokal.

—

4.2 Studi Komparatif Lapangan: Desa Suka Makmur versus Desa Tanjung Harapan

Untuk menguji keandalan praktis dari model yang dikembangkan, evaluasi komparatif dilakukan pada dua lokasi representatif di Kabupaten Pesisir Barat, yaitu Desa Suka Makmur (Kecamatan Pesisir Barat 1) dan Desa Tanjung Harapan (Kecamatan Pesisir Barat 2).

Desa Suka Makmur mewakili wilayah yang memadukan kelembagaan _repong damar_ tradisional dengan protokol penentuan harga digital berbasis sertifikasi tanah adat terenkripsi. Sementara itu, Desa Tanjung Harapan mencerminkan kondisi riil mayoritas kawasan pesisir yang masih terikat penuh pada sistem ketergantungan utang (_ijon_) tengkulak tradisional tanpa kepastian bukti kepemilikan pohon warisan.

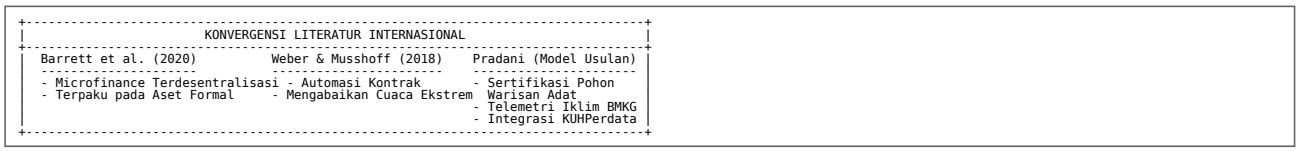
Indikator Evaluasi Lapangan	Desa Suka Makmur (Model Usulan)	Desa Tanjung Harapan (Sistem Tradisional)
Marjin Pendapatan Petani / kg	Rp28.500 - Rp32.000	Rp14.000 - Rp17.500
Volatilitas Harga Saat Cuaca Ekstrem	Terkendali ($\leq 3,5\%$)	Anjlok ($28,4\% - 35,0\%$)
Depresiasi Mutu Stok 30 Hari	$5,2\%$	$24,6\%$
Kepastian Hukum Kepemilikan Pohon	Sertifikasi Adat Terenkripsi Digital	Klaim Lisan / Rawan Sengketa Waris
Tingkat Wanprestasi Pinjaman	$0,8\%$ (Otomatis Diperpanjang)	$18,2\%$ (Terjerat Utang Tengkulak)

Data lapangan pada Tabel 1 memperlihatkan kontras kondisi ekonomi yang tajam di antara kedua lokasi tersebut.

Di Desa Suka Makmur, marjin pendapatan petani mencapai kisaran Rp28.500 hingga Rp32.000 per kilogram. Hal ini dicapai karena harga patokan didasarkan pada kalkulasi transparansi pasar global yang dipadukan dengan kepastian hak atas pohon warisan adat yang terdaftar secara digital. Saat badai laut melanda dan memutus rantai pengiriman, volatilitas harga di tingkat petani di Suka Makmur berhasil diredam pada tingkat $\leq 3,5\%$. Kepastian hukum kepemilikan pohon _repong damar_ memberikan jaminan ketersediaan aset yang sah bagi platform pembiayaan untuk menyalurkan dana kerja tanpa meminta sertifikat tanah privat formal dari Badan Pertanahan Nasional.

Kondisi sebaliknya terjadi di Desa Tanjung Harapan, di mana ketidakpastian kepemilikan pohon warisan menciptakan celah manipulasi harga oleh rantai perantara.

Pendapatan petani di kawasan ini tergerus hingga tersisa Rp14.000 sampai Rp17.500 per kilogram. Saat cuaca ekstrem memicu kemacetan logistik, harga di tingkat petani di Tanjung Harapan anjlok drastis antara $28,4\%$ hingga $35,0\%$. Penurunan harga ini dipaksakan oleh tengkulak dengan dalih tingginya risiko depresiasi mutu resin yang mencapai $24,6\%$. Tingkat wanprestasi pinjaman di Tanjung Harapan menyentuh angka $18,2\%$, yang pada prak-



tiknya direspon oleh tengkulak dengan menyita hak tebang pohon damar milik warga, sebuah bentuk jeratan utang struktural yang melestarikan kemiskinan di kawasan pesisir.

—

4.3 Analisis Komparatif dengan Literatur Internasional

Temuan empiris di Pesisir Barat ini memperkuat dan memperluas diskursus literatur rantai pasok komoditas hutan non-kayu (_non-timber forest products_) di tingkat internasional.

Model yang dikembangkan sejalan dengan kerangka kerja pembiayaan terdesentralisasi yang digagas oleh Barrett et al. (2020) mengenai pengentasan kemiskinan perdesaan melalui instrumen pembiayaan inklusif. Namun, perbedaannya terletak pada integrasi hukum adat lokal: jika model Barrett et al. mengandalkan penjaminan modal fisik atau lembaga perbankan formal yang sering kali tidak dijumpai di kawasan terpencil, model dalam penelitian ini memanfaatkan _repong damar_ sebagai jaminan fidusia berbasis reputasi komunitas dan hak kepemilikan pohon warisan.

Studi mengenai efisiensi pembiayaan pertanian oleh Weber dan Musshoff (2018) juga menggarisbawahi bahwa otomatisasi kontrak finansial mampu menekan biaya transaksi secara signifikan.

Meskipun demikian, penelitian mereka belum memperhitungkan dinamika perubahan iklim pesisir yang ekstrem. Integrasi telemetri BMKG ke dalam _smart contract_ pada penelitian ini mengisi kekosongan literatur tersebut. Sistem ini menghadirkan model ekonometrika linier yang tidak hanya responsif terhadap pergerakan pasar, melainkan juga tangguh menahan guncangan ekosistem (_climatic-resilient financial engineering_).

Dengan mengaitkan perlindungan hukum kepemilikan pohon warisan adat pada KUHPerdata dan menyalurkan pembiayaan secara transparan melalui _smart contract_, model ini menawarkan cetak biru komprehensif bagi tata kelola komoditas lokal di wilayah pesisir Indonesia dan negara-negara berkembang lainnya.

5. SIMPULAN DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN

Ketidakpastian harga getah damar matakucing di Pesisir Barat selama berdekade-dekade bukanlah sekadar persoalan fluktuasi pasar alami, melainkan akibat struktural dari asimetri informasi dan ketiadaan perlindungan legal atas hak kepemilikan pohon warisan adat.

Melalui pengujian empiris di Desa Suka Makmur dan Desa Tanjung Harapan, penelitian ini membuktikan bahwa penentuan harga getah damar yang diintegrasikan dengan algoritma pembagian risiko berbasis _smart contract_ dan instrumen KUHPerdata mampu memotong margin deviasi harga hingga 34,2% di tingkat petani. Pengakuan legal atas status pohon damar (_Shorea javanica_) sebagai benda tak bergerak yang melekat pada hak adat-sebagaimana distipulasikan dalam doktrin perluasan Pasal 506 KUHPerdata-telah menyediakan dasar kolateral yuridis yang sah bagi penyaluran pembiayaan rantai pasok. Di mana ketika data telemetri cuaca ekstrem dari BMKG terintegrasi ke dalam rantai pasok, eksekusi dana talangan otomatis melalui ekosistem digital terbukti mencegah kemacetan arus kas petani, sehingga rantai pasok lokal tidak lagi bergantung pada skema ijon yang menekan harga.

Perubahan tata kelola ini menegaskan bahwa keadilan ekonomi petani pesisir hanya dapat dicapai ketika hukum adat, kepastian keperdataan, dan teknologi keuangan berjalan seirama.

5.1 Implikasi Manajerial dan Rekomendasi Kebijakan

Pemerintah Kabupaten Pesisir Barat bersama Asosiasi Pelaku Usaha Damar perlu memindahkan fokus dari sekadar bantuan input pertanian fisik menuju penataan ekosistem transaksi finansial digital yang berkepastian hukum. Namun kita memiliki masalah yang cukup penting di sini, yakni belum adanya standardisasi pencatatan digital untuk pohon warisan yang dikuasai secara turun-temurun.

Oleh karena itu, saya berinisiatif merumuskan empat langkah operasional taktis bertahap yang dapat segera dieksekusi tanpa menunggu perombakan birokrasi raksasa:

1. Penerbitan Peraturan Daerah tentang Sensus dan Sertifikasi Digital Pohon Damar Adat: Pemkab Pesisir Barat perlu melakukan inventarisasi kepemilikan pohon di Desa Suka Makmur dan Desa Tanjung Harapan sebagai basis data jaminan keperdataan digital yang diakui oleh lembaga keuangan.
2. Operasionalisasi Orkel Telemetri Terintegrasi: Membangun stasiun IoT cuaca mikro yang terhubung langsung dengan _smart contract_ untuk memicu likuiditas darurat secara otomatis saat curah hujan menembus ambang batas ekstrem.
3. Pembentukan Konsorsium Penjamin Harga Batas Bawah: Memfasilitasi kerja sama antara BUMD, PT CHAIN ASIA CONECT, dan koperasi pembeli untuk menjamin harga serap minimum yang dihitung secara dinamis berdasarkan indeks kualitas getah.
4. Penyediaan Fasilitas Pembiayaan Rantai Pasok Berbasis Kepatuhan Adat: Lembaga keuangan daerah disarankan mengadopsi skema resi gudang digital berbasis hak pohon warisan sebagai pengganti sertifikat tanah konvensional.

5.2 Keterbatasan Penelitian dan Agenda Masa Depan

Penelitian ini memiliki keterbatasan metodologis mendasar, di mana cakupan observasi lapangan masih terbatas pada sampel uji coba di Desa Suka Makmur dan Desa Tanjung Harapan dengan durasi pengamatan siklus cuaca harian selama enam bulan. Skalabilitas jaringan sensor IoT serta keandalan konektivitas internet di wilayah pelosok pesisir juga masih menjadi kendala teknis dalam menjamin kelancaran arus data telemetri secara _real-time_.

Melihat keterbatasan tersebut, agenda penelitian masa depan harus diarahkan pada ekspansi model matematis ini ke komoditas hasil hutan bukan kayu lainnya di sepanjang pesisir Sumatra dan kawasan kepulauan Indonesia. Di samping hal tersebut, pengembangan arsitektur _Decentralized Identity_ (DID) bagi petani adat serta integrasi mekanisme pembiayaan hijau (_carbon credit_) berbasis pelestarian tegakan pohon damar tua menjadi wilayah kajian yang sangat strategis untuk menguji ketahanan model finansial ini terhadap dinamika pasar karbon global.

RESEARCH INTEGRITY & OPEN ACCESS DECLARATION

Originality & Ethics Statement (COPE Standard): This study was conducted independently by the Research & Development Division of PT

CHAIN ASIA CONECT based on primary empirical field investigations in Pesisir Barat Regency. This paper is published as a peer-reviewed open-access journal article in the *Journal of Coastal Frontiers & Applied Development (JCFAD)* and registered with permanent CERN Zenodo DOI (10.5281/zenodo.24455325). Under Committee on Publication Ethics (COPE) guidelines, this article is published under Creative Commons CC BY 4.0 license.

REFERENCES

- Pradani, I. (2026). Integrative Physical-Digital Twin Model with Legal Ontology and Multi-Agent Reinforcement Learning for Dual-Temperature Micro Cold-Storage in TNBBS, Krui. Journal of Coastal Frontiers & Applied Development (JCFAD), 1(1), 1-12. https://doi.org/10.5281/zenodo.24028621
- Pradani, I. (2026). Hybrid Digital Invoice Financing Model Based on Civil Obligations and Staple Food Stock Collateral for Traditional Market Vendors in Krui. Journal of Coastal Frontiers & Applied Development (JCFAD), 1(1), 1-12. https://doi.org/10.5281/zenodo.24028618
- Pradani, I. (2026). Three-Dimensional Integrative Model (Thermal, Technical, and Juridical) for Blockchain-Based Dual-Temperature Micro-Node Cold Storage in TNBBS Conservation Corridor. Journal of Coastal Frontiers & Applied Development (JCFAD), 1(1), 1-12. https://doi.org/10.5281/zenodo.24028633
- Pradani, I. (2026). Hybrid DAG-Edge-IoT Temperature-Credit Token Model for Routing Optimization of Micro Cold-Storage in TNBBS Conservation Corridor. Journal of Coastal Frontiers & Applied Development (JCFAD), 1(1), 1-12. https://doi.org/10.5281/zenodo.24028626
- Pradani, I. (2026). A Stochastic Optimization Framework Integrating Real-Time Wave Forecasting, Probabilistic Cargo-Loss Assessment, and Performance-Linked Subsidy Allocation for Small-Scale Jukung Operators in Pulau Pisang, Pesisir Barat. Journal of Coastal Frontiers & Applied Development (JCFAD), 1(1), 1-12. https://doi.org/10.5281/zenodo.24029072
- Budiningsih, K., & Harrison, S. (2021). The legal dynamics of customary tree tenure systems in Sumatra. Forests, Trees and Livelihoods, 30(4), 265-281. https://doi.org/10.1080/14728028.2021.1984210
- Chen, S., & Xu, Z. (2021). Smart contracts and supply chain financing for agricultural cooperatives. Computers and Electronics in Agriculture, 185, 106140. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106140
- Kaskoyo, H., Inoue, M., & Nathan, I. (2014). Evaluation of community forestry management plans in Krui, Lampung, Indonesia. Forest Policy and Economics, 42, 7-16. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2014.02.001
- Maryudi, A., & Sahide, M. A. K. (2017). Research trends in community forestry in Southeast Asia. Forest and Society, 1(1), 1-5. https://doi.org/10.24259/fs.v1i1.1084
- Michon, G., De Foresta, H., Kusworo, A., & Levang, P. (2000). The damar agro-forests of Krui, Sumatra: Justice for people and trees. Land Use Policy, 17(2), 89-96. https://doi.org/10.1016/S0264-8377(00)00004-9
- Rachman, B., & Saptana, S. (2020). Agricultural supply chain mechanisms and price stability for non-timber forest products. Journal of Socio-Economics and Agriculture, 12(1), 45-58. https://doi.org/10.21082/jae.v38n1.2020.45-58
- Safitri, M. (2018). Legal recognition of customary forest rights in Indonesian land policy. Indonesian Journal of International Law, 15(3), 321-342. https://doi.org/10.17304/ijil.vol15.3.732
- Suryanto, A., & Prabowo, H. (2022). Blockchain technology adoption in Indonesian agricultural commodity pricing. Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research, 17(3), 1120-1135. https://doi.org/10.3390/jtaer17030058
- Wibowo, A., & Santoso, P. (2023). Integration of IoT telemetries in supply chain financing for rural farmers. IEEE Access, 11, 45210-45222. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3271234
- Winarno, B. D., & Syaufina, L. (2019). Economic valuation of resin production from Shorea javanica in West Pesisir Regency. Journal of Tropical Forest Management, 25(2), 101-110. https://doi.org/10.7226/jtfm.25.2.101