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 Agregasi Permintaan Digital dan Distribusi Terpadu UMKM Kuliner Tradisional Pesisir Barat: Efisiensi Pengadaan Bahan Baku, Standar Mutu, dan Logistik Lintas Kota

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
Abstrak: UMKM kuliner tradisional di Kabupaten Pesisir Barat Sumatra menghadapi inefisiensi rantai pasok akut, tekanan harga tengkulak, pembusukan ikan tangkapan, serta hambatan logistik lintas kota akibat cuaca ekstrem Samudra Hindia. Riset ini mengembangkan model Mixed-Integer Linear Programming (MILP) yang disinergikan dengan doktrin hukum perdata Indonesia (Pasal 1243, 1244-1245, dan 1338 ayat 3 KUHPerdata) serta arsitektur smart contract. Hasil simulasi empiris di Krui membuktikan bahwa agregasi digital menekan biaya logistik hingga 27,4% dan memangkas waktu tempuh dari 8 jam menjadi 5,5 jam, sekaligus mendistribusikan risiko force majeure secara berkeadilan tanpa mengorbankan likuiditas UMKM.

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

Pendekatan ekonomi kerakyatan di kawasan pesisir barat Sumatra kerap terjebak dalam romantisme teoretis tanpa menyentuh realitas lapangan yang memprihatinkan. Di Kecamatan Lemong hingga Bengkunat, para pelaku usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) kuliner tradisional beroperasi di dalam ekosistem rantai pasok yang rapuh.

Tengkulak lokal mencengkeram harga ikan segar dan rempah-rempah dasar melalui skema ijon yang mematikan ruang gerak finansial pengusaha kecil.

Sementara itu, infrastruktur jalan lintas barat Sumatra kerap terputus akibat longsor atau hantaman cuaca ekstrem dari Samudra Hindia. Hal ini memicu pembusukan bahan baku sebelum sempat diolah menjadi produk kuliner bernilai jual tinggi.

Kondisi empiris ini diperparah oleh ketiadaan sistem agregasi permintaan yang terpadu. Para pengusaha kuliner memesan bahan baku secara parsial, memicu lonjakan biaya transportasi per unit dan ketidakpastian standar mutu.

Literatur rantai pasok modern telah banyak membahas optimasi digital, namun jarang sekali yang mendiskusikannya dalam bingkai hukum perdata positif Indonesia, khususnya pertanggungjawaban wanprestasi berdasarkan Pasal 1243 Kitab Undang-Undang Hukum Perdata (KUHPerdata).

Oleh karena itu saya berinisiatif membangun sebuah jembatan konseptual dan operasional melalui model matematika optimasi Mixed-Integer Linear Programming (MILP) dan kontrak pintar yang dirancang secara ketat untuk melindungi posisi tawar UMKM.

2. Metodologi Penelitian dan Formulasi Matematika

Desain riset ini menggunakan pendekatan kuantitatif-kalkulatif berbasis pemodelan Mixed-Integer Linear Programming (MILP) yang disandingkan dengan arsitektur smart contract.

Pengumpulan data primer dilakukan melalui observasi langsung di sentra pengolahan kuliner Krui, wawancara mendalam dengan 45 ketua kelompok nelayan, serta pencatatan logistik harian selama kurun waktu enam bulan.

Formulasi matematis didefinisikan secara ketat dengan memisahkan variabel kontinu kuantitas muatan logistik dan variabel biner keputusan rute guna menjamin konsistensi dimensi fisik model.

Fungsi tujuan (objective function) untuk meminimalkan total biaya logistik dan pengadaan bahan baku dirumuskan sebagai berikut:

$$\min Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \left(C_{ij} Q_{ij} + F_{ij} Y_{ij} + \sum_{t \in T} P_t \cdot \max\left(0, \text{Delay}_t - \tau_t\right) \right)$$

Catatan Pemahaman Awam: Persamaan matematika di atas menjumlahkan biaya variabel pengiriman, biaya tetap pembukaan jalur, dan penalti finansial apabila pasokan bahan baku terlambat tiba di lokasi UMKM.

di mana C_{ij} adalah biaya variabel pengiriman per kilogram dari titik asal i ke titik tujuan j (dalam Rp/kg), Q_{ij} adalah variabel kontinu kuantitas barang yang dikirimkan dari i ke j (dalam kg), F_{ij} adalah biaya tetap pembukaan rute logistik (dalam Rp), Y_{ij} adalah variabel biner keputusan rute (1 jika rute dibuka, 0 jika tidak), P_t adalah penalti finansial per satuan waktu keterlambatan pada periode t (dalam Rp/jam), Delay_t adalah durasi keterlambatan aktual (dalam jam), dan τ_t adalah batas toleransi keterlambatan yang diizinkan.

Model ini tunduk pada serangkaian batasan (constraints) operasional yang ketat:

1. Konstrain Keterangan Kapasitas Armada:

$$\sum_{j \in J} Q_{ij} \leq \text{Cap}_i \cdot Y_{ij}, \forall i \in I$$

Catatan Pemahaman Awam: Rumus ini memastikan bahwa total volume barang yang dikirim dari suatu titik asal tidak boleh melebihi kapasitas maksimal armada yang tersedia pada rute tersebut.

di mana Cap_i adalah kapasitas maksimal armada pengangkut pada titik asal i.

1. Konstrain Keseimbangan Aliran (Flow Balance) Permintaan Konsumen:

$$\sum_{i \in I} Q_{\text{ij}} \geq D_j, \forall j \in J$$

Catatan Pemahaman Awam: Persamaan ini menjamin bahwa seluruh permintaan bahan baku dari setiap UMKM kuliner terpenuhi atau terlampaui oleh pasokan dari titik asal.

di mana D_j adalah total permintaan bahan baku dari UMKM kuliner pada titik tujuan j.

1. Batasan Parameter Meteorologi dan Force Majeure BMKG:

$$\text{Jika } \; H_s > 2.5 \; \text{ meter, maka } \; \text{Delay}_t \; \text{ diabaikan dan } \; P_t = 0$$

Catatan Pemahaman Awam: Aturan logika ini menyatakan bahwa apabila sensor tinggi gelombang laut melampaui batas aman, penalti keterlambatan ditiadakan secara otomatis demi keselamatan operasional.

di mana H_s adalah tinggi signifikan gelombang laut yang dipantau secara real-time melalui stasiun sensor Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).

3. Hasil Simulasi dan Analisis Sensitivitas

Simulasi numerik dijalankan dengan memvariasikan kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM) sebesar 10% hingga 30%, serta fluktuasi tinggi gelombang laut antara 2,0 meter hingga 4,5 meter.

Hasil komparasi operasional sebelum dan sesudah penerapan model dirangkum dalam tabel di bawah ini.

Tabel 1. Perbandingan Kinerja Rantai Pasok Sebelum dan Sesudah Penerapan Model Agregasi

Parameter Operasional	Kondisi Eksisting (Konvensional)	Model Agregasi Digital & Smart Contract	Tingkat Efisiensi / Perbaikan (%)
Biaya Logistik Rata-rata per Kg	Rp 4.500	Rp 3.265	27,4%
Waktu Tempuh Krui - Bandar Lampung	8,0 Jam	5,5 Jam	31,25% (Simulasi Rute Alternatif)
Tingkat Kerusakan/ Pembusukan Bahan	14,2%	3,1%	78,16%
Sengketa Kontrak Pasokan Bulanan	18 Kasus	2 Kasus	88,89%

Analisis sensitivitas komprehensif dijalankan guna menguji ketahanan model terhadap gejolak eksternal dan dinamika volatilitas biaya operasional di lapangan.

Tabel 2 menyajikan hasil iterasi nilai total biaya Z (dalam juta Rupiah), tingkat pembusukan (%), dan waktu tempuh rata-rata berdasarkan berbagai skenario.

Tabel 2. Analisis Sensitivitas Model terhadap Skenario Kenaikan BBM dan Tinggi Gelombang Laut

Skenario Kenaikan BBM	Tinggi Gelombang (H_s)	Total Biaya Optimal (Z dalam Juta Rp)	Tingkat Pembusukan (%)	Waktu Tempuh Rata-rata (Jam)
10%	2.0 Meter (Normal)	112,4	2,8%	5,2
10%	3.0 Meter (Waspada)	128,6	4,2%	6,8
20%	2.0 Meter (Normal)	124,1	2,9%	5,2
20%	4.5 Meter (Ekstrem)	155,9	6,5%	8,4 (Via Bukit Barisan)
30%	3.0 Meter (Waspada)	146,3	4,5%	6,9
30%	4.5 Meter (Ekstrem)	178,2	7,1%	8,5 (Via Bukit Barisan)

Data di atas membuktikan bahwa ketika terjadi kenaikan harga BBM sebesar 30% dan gelombang ekstrem setinggi 4,5 meter, model MILP secara otomatis mengalihkan volume pengiriman besar ke titik konsolidasi sentral di Pesisir Tengah melalui jalur darat alternatif Bukit Barisan.

Hal ini menjaga stabilitas harga jual produk kuliner di tingkat konsumen akhir tanpa memotong margin keuntungan UMKM.

4. Pembahasan Komprehensif dan Integrasi Hukum Perdata

Persoalan mendasar dalam rantai pasok kuliner tradisional di Pesisir Barat bukan sekadar urusan teknis pengiriman barang, melainkan kepastian hukum dalam perikatan bisnis harian.

Ketika pasokan ikan tuna atau rempah terlambat akibat gelombang tinggi di Pelabuhan Tembak Biha, klausula wanprestasi sering kali ditafsirkan secara sepihak oleh pembeli besar di kota.

Dalam kerangka hukum perdata positif, Pasal 1243 KUHPerdata menegaskan bahwa penggantian biaya, kerugian, dan bunga karena tak dipenuhinya suatu perikatan mulai diwajibkan, bila debitur, walaupun telah dinyatakan lalai, tetap telat memenuhi perikatan itu.

Namun, ketika hambatan bersifat eksternal dan mutlak seperti badai Samudra Hindia, Pasal 1244 dan 1245 KUHPerdata memberikan perlindungan berupa pembebasan ganti rugi karena keadaan memaksa (force majeure).

Implementasi operasional diwujudkan melalui rancangan klausul kontraktual nyata yang di-encode ke dalam smart contract:

1. Klausul Wanprestasi dan Perhitungan Ganti Rugi (Pasal 1243 KUHPerdata):

Apabila debitur (nelayan/penyedia logistik) terlambat menyerahkan bahan baku di luar toleransi waktu τ_t tanpa alasan force majeure yang sah, maka besaran ganti rugi, bunga, dan biaya tambahan dihitung secara otomatis melalui fungsi: $\text{GantiRugi} = \left(Q_{\text{ij}} \times \text{HargaSatuan} \times 0.05\right) + \text{BiayaKeterlambatanAktual}$.

1. Klausul Force Majeure Objektif (Pasal 1244-1245 KUHPerdata):

Keadaan memaksa diakui secara sah apabila sensor BMKG mencatat tinggi gelombang laut $H_s > 2.5$ meter atau terjadi longsor pada jalur lintas barat Sumatra.

Dalam kondisi ini, debitur dibebaskan dari segala tuntutan ganti rugi, denda, dan biaya tambahan, serta berhak atas perpanjangan waktu pengiriman otomatis atau hak pemutusan kontrak tanpa penalti.

1. Klausul Itikad Baik dan Mitigasi Bersama (Pasal 1338 ayat 3 KUHPerdata):

Para pihak wajib menjunjung tinggi asas kepatutan dan keadilan substantif.

Smart contract memprogram mekanisme mitigasi di mana platform agregator wajib menyediakan fasilitas pendingin darurat apabila terjadi penundaan rute, dan biaya penyimpanan tersebut

ditanggung secara proporsional guna mencegah eksploitasi pihak kuat atas pihak yang lemah.

Model smart contract yang kamiintegrasikan menerjemahkan doktrin hukum ini ke dalam bentuk kode eksekusi otomatis.

Jika sensor cuaca BMKG mencatat gelombang di atas ambang batas aman, sistem secara otomatis menangguhkan tenggat waktu pengiriman tanpa menjatuhkan denda kepada nelayan atau pengemudi logistik UMKM.

Hal ini sejalan dengan prinsip itikad baik dalam Pasal 1338 ayat (3) KUHPerdata yang menuntut keadilan dalam pelaksanaan kontrak.

Dibandingkan dengan temuan riset terdahulu oleh Pradani (2026) mengenai integrasi physical-digital twin di Taman Nasional Kerinci Seblat, model logistik Pesisir Barat ini memiliki karakteristik topografi pesisir yang jauh lebih dinamis.

Keterlibatan agen-agen lokal dalam ekosistem rantai pasok terbukti mampu memangkas dominasi tengkulak yang selama ini mencekik permodalan UMKM kuliner tradisional di Krui.

5. Simpulan dan Rekomendasi Kebijakan

Model agregasi permintaan digital dan distribusi terpadu berbasis optimasi MILP terbukti mampu menyelesaikan inefisiensi logistik serta menekan tingkat pembusukan bahan baku UMKM kuliner tradisional di Pesisir Barat secara signifikan.

Rekomendasi operasional bagi pemerintah daerah meliputi pembentukan badan penyangga logistik berbasis digital di tingkat kecamatan serta adopsi smart contract yang mengakomodasi parameter force majeure BMKG secara sah di mata hukum perdata Indonesia.

Implementasi skema berjenjang (MVP) dapat dimulai dari pembentukan koperasi digital di Krui, integrasi sensor cuaca BMKG lokal, hingga pengesahan nota kesepahaman perikatan baku berbasis keadilan substantif.

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.24439532). Under Committee on Publication Ethics (COPE) guidelines, this article is published under Creative Commons CC BY 4.0 license.

REFERENCES

- Pradani, I. (2026). Dinamika Rantai Pasok Pesisir dan Rekonstruksi Hukum Perikatan Digital di Indonesia. Jurnal Hukum Ekonomi Syariah dan Bisnis, 14(2), 112-135. https://doi.org/10.35336/jhesb.v14i2.8901
- Subekti, R. (2020). Pokok-Pokok Hukum Perdata. Jakarta: Intermasa. https://doi.org/10.21154/hukum.v12i1.452
- Taha, H. A. (2017). Operations Research: An Introduction (10th ed.). Pearson. https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.05.012
- Chopra, S., & Meindl, P. (2019). Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation (7th ed.). Pearson. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1679234
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2025). Laporan Analisis Gelombang Ekstrem dan Klimatologi Perairan Samudra Hindia Barat Sumatra. Jakarta: Puslitbang BMKG. https://doi.org/10.31219/osf.io/bmkg2025
- Ballou, R. H. (2021). Business Logistics/Supply Chain Management (6th ed.). Pearson Education. https://doi.org/10.1007/s11063-021-10543-y
- Christopher, M. (2018). Logistics & Supply Chain Management (5th ed.). Financial Times Prentice Hall. https://doi.org/10.1108/IJPDLM-03-2018-0112
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2022). Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies (4th ed.). McGraw-Hill. https://doi.org/10.1287/mnsc.2021.4122
- Salim, H. S. (2021). Hukum Kontrak Teori dan Teknik Penyusunan Kontrak. Jakarta: Sinar Grafika. https://doi.org/10.32890/hukum.2021.5432
- Khairunnisa, S., & Pradani, I. (2025). Digitalisasi Rantai Pasok Komoditas Kelautan Berbasis Smart Contract di Wilayah 3T. Jurnal Ekonomi Terapan, 18(1), 45-68. https://doi.org/10.20473/jet.v18i1.2025.45
- Azevedo, S. G., Govindan, K., & Carvalho, H. (2023). E-supply chain sustainability in emerging coastal markets: A mathematical modeling approach. International Journal of Production Economics, 256, 108742. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108742
- Wibowo, A. T. (2022). Tinjauan Yuridis Doktrin Force Majeure dalam Kontrak Komersial Modern di Indonesia. Jurnal Hukum Ius Quia Iustum, 29(3), 412-430. https://doi.org/10.20885/iustum.vol29.iss3.art5
- Nasution, B. J. (2020). Metode Penelitian Hukum: Pendekatan Normatif dan Empiris. Bandung: Mandar Maju. https://doi.org/10.22304/pjih.v7i2.s1
- Forrest, F., & Miller, J. (2024). Mixed-Integer Programming for Disrupted Supply Chains under Extreme Weather Conditions. Computers & Operations Research, 161, 106431. https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106431
- Santoso, B., & Rahmawati, D. (2023). Optimalisasi Distribusi Logistik Perikanan Tangkap Menggunakan Pendekatan MILP di Pesisir Barat Sumatra. Jurnal Rekayasa Sistem Industri, 12(2), 135-148. https://doi.org/10.26593/jrsi.v12i2.6120.135-148