

BLOCKCHAIN

UNTUK TRANSPARANSI DAN INTEGRITAS RANTAI PASOK GLOBAL

Rudy C. Tarumingkeng



Rudy C Tarumingkeng: **Blockchain untuk Transparansi dan
Integritas Rantai Pasok Global**

Oleh:

[Prof Ir Rudy C Tarumingkeng, PhD](#)

Guru Besar Manajemen, NUP: 9903252922

Rektor, Universitas Cenderawasih, Papua (1978-1988)

Rektor, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta (1991-2000)

Ketua Dewan Guru Besar IPB-University, Bogor (2005-2006)

Ketua Senat Akademik IBM-ASMI, Jakarta

© RUDYCT e-PRESS

rudymct75@gmail.com

Bogor, Indonesia

6 Oktober 2025

BLOCKCHAIN UNTUK TRANSPARANSI DAN INTEGRITAS RANTAI PASOK GLOBAL

Berikut adalah sebuah paparan menyeluruh (dalam format akademik dan naratif) mengenai topik **“Blockchain untuk Transparansi dan Integritas Rantai Pasok Global”**, dengan sub-judul **“Teknologi yang membangun kepercayaan dan efisiensi”**, serta dilengkapi contoh/kasus nyata. Karena ruang dan fokus, dibahas dalam beberapa bab agar alur logisnya lebih jelas.

Pendahuluan

Latar Belakang

Rantai pasok (supply chain) global saat ini bersifat sangat kompleks, terdesentralisasi, melibatkan banyak aktor: produsen bahan mentah, pemasok antara, pengolahan/manufaktur, distributor, perantara logistik (transportasi, pergudangan), pengecer, dan konsumen akhir. Dalam struktur ini, adanya informasi yang tersebar, silo data, dan kurangnya visibilitas (visibility) antarpihak menimbulkan isu klasik:

- **Penipuan, pemalsuan, dan manipulasi data** — misalnya sertifikasi palsu, barang tiruan, dokumen palsu, perubahan spesifikasi di tengah jalan.
- **Ketidakpastian provenance** (asal usul) — sulit menelusuri asal bahan mentah atau jejak produksi.
- **Ketidakefisienan operasional** — karena verifikasi manual, rework, audit eksternal, duplikasi input, dan hambatan koordinasi antar organisasi.

- **Masalah kepercayaan (trust)** — setiap pihak (misalnya pembeli vs pemasok) harus saling percaya data yang disampaikan.
- **Keterlambatan dan risiko logistik** — ketika ada kejadian tak terduga (cuaca buruk, bencana, gangguan rantai pasok lokal), koordinasi dan respons bisa lambat.

Dalam konteks ini, muncul harapan bahwa teknologi blockchain dapat menjadi “infrastruktur bersama” yang memungkinkan keterbukaan (transparansi), keutuhan data (integritas), dan efisiensi melalui otomatisasi (misalnya smart contract). Dalam bahasa sederhana: blockchain memungkinkan “sumber kebenaran (single source of truth)” bersama di antara banyak pihak, tanpa harus sepenuhnya bergantung pada satu pihak otoritatif tunggal.

Tujuan dari paparan ini adalah menjelaskan bagaimana blockchain bisa diterapkan dalam konteks rantai pasok global, apa kelebihan dan batasannya, dan menyajikan studi kasus konkret untuk melihat dampaknya terhadap penipuan, kecepatan, dan optimasi logistik.

Landasan Teoritis: Blockchain, Transparansi & Integritas

Apa itu Blockchain — fitur kunci

Agar pembahasan tidak sekadar “teknologi buzzword”, mari kita ringkas fitur teknologi blockchain (terutama yang relevan dalam rantai pasok) dan bagaimana fitur-fitur tersebut menghadirkan transparansi dan integritas.

1. Desentralisasi / Terdistribusi

Data disimpan tidak pada satu server terpusat, tetapi digandakan (replicated) ke sejumlah node (komputer) dalam jaringan. Tidak ada satu entitas tunggal yang mengontrol ledger (buku besar).

2. Imutabilitas / Tidak Terubah Setelah Dicatat

Setelah data transaksi ditambahkan ke blockchain (melalui proses konsensus), maka sangat sulit untuk mengubah isinya (selain dengan konsensus lintas jaringan). Ini membuat rekaman transaksi bersifat permanen, yang mencegah manipulasi data di masa mendatang.

3. Keterkaitan Blok / Hashing

Setiap blok data berisi pointer (hash) ke blok sebelumnya, sehingga jika satu blok diubah, konsistensi seluruh rantai akan rusak dan terdeteksi.

4. Konsensus / Validasi

Agar data baru bisa dicatat, sebagian node dalam jaringan harus validasi dan menyetujui (melalui protokol konsensus seperti Proof of Work, Proof of Stake, atau mekanisme lain pada blockchain permissioned).

5. Transparansi & Aksesibilitas

Setiap peserta (atau peserta yang diberi hak) dapat melihat (atau memverifikasi) data transaksi di blockchain. Jika menggunakan blockchain terbuka (public), data bisa diakses publik; jika menggunakan blockchain permissioned, hanya pihak yang diotorisasi dapat mengakses sebagian atau seluruh data.

6. Smart Contract / Kontrak Cerdas

Potongan kode yang berada di blockchain yang secara otomatis melaksanakan aksi tertentu (misalnya pembayaran, pelepasan barang) ketika kondisi tertentu terpenuhi. Ini memungkinkan otomatisasi dan pengurangan intervensi manual.

7. Interoperabilitas & Integrasi dengan IoT / Sensor

Blockchain dapat berintegrasi dengan sensor IoT, RFID, atau sistem external (via “oracles”) agar data fisik (misalnya lokasi, suhu, kelembapan) dapat dicatat di ledger.

Ketika fitur-fitur di atas dipadu dalam lingkungan rantai pasok, maka potensi manfaat utamanya adalah:

Rudy C Tarumíngkeng: Blockchain untuk Transparansi dan
Integritas Rantai Pasok Global

- **Transparansi:** Semua pihak memiliki visibilitas (berdasarkan izin) terhadap rekam jejak produk / barang.
- **Keutuhan (integritas) data:** Tidak mudah ada perubahan data sesudah pencatatan.
- **Kepercayaan bersama:** Karena tidak ada satu pihak “otoritas pusat” yang memanipulasi data, maka pihak-pihak bisa mempercayai data bersama selama mereka ikut jaringan.
- **Efisiensi operasional:** Dengan smart contract, audit dan verifikasi dapat berjalan otomatis; dokumen manual dan birokrasi dapat dikurangi.
- **Deteksi dini kecurangan / penyimpangan:** Karena keterbukaan data, anomali bisa terdeteksi lebih cepat melalui analitik.

Namun, tentu saja tidak semua mudah — tantangan teknis, biaya integrasi, resistensi organisasi, masalah privasi, skala transaksi, dan interoperabilitas menjadi penghalang.

Menghubungkan fitur blockchain dengan kebutuhan manajemen rantai pasok

Dari perspektif manajemen, teknologi harus menjawab masalah praktis dalam rantai pasok. Berikut adalah korelasi antara fitur blockchain dan kebutuhan manajerial:

Kebutuhan Manajerial	Fitur Blockchain yang Relevan	Dampak Potensial
Verifikasi asal dan keaslian produk	Imutabilitas, hashing, pencatatan jejak	Bisa membuktikan bahwa barang tidak berasal dari sumber ilegal atau palsu
Pencatatan dokumen dan kepatuhan regulasi	Smart contract, ledger bersama	Dokumen impor/ekspor dapat diverifikasi langsung, mengurangi sengketa

Rudy C Tarumingkeng: Blockchain untuk Transparansi dan
Integritas Rantai Pasok Global

Kebutuhan Manajerial	Fitur Blockchain yang Relevan	Dampak Potensial
Koordinasi antar pelaku (multi pihak)	Desentralisasi & konsensus	Partisipasi transparan tanpa perlu mediator pusat
Otomasi pemicu aksi (misalnya pembayaran, pelepasan barang, penalti)	Smart contract	Proses otomatis berdasarkan kondisi (“jika barang telah diterima, maka bayar”)
Visibilitas logistik (lokasi, kondisi barang)	Integrasi IoT + blockchain	Pantau perjalanan barang secara real time; catat kondisi lingkungan (suhu, kelembaban)
Audit & pengawasan pihak eksternal	Akses read-only bagi auditor/regulator	Memudahkan audit; meningkatkan akuntabilitas
Manajemen risiko dan mitigasi fraud	Rekam jejak yang transparan	Anomali, perubahan data, rantai terputus akan tampak lebih cepat
Kecepatan respon terhadap gangguan	Data real-time dan akses bersama	Pemangku kepentingan bisa segera bereaksi terhadap hambatan logistik

Dari tabel di atas, sudah jelas bahwa blockchain tidak hanya soal “teknologi baru”, tapi bagaimana teknologi ini menyelaraskan kebutuhan manajemen (kepercayaan, visibilitas, efisiensi) dalam konteks rantai pasok yang kompleks.

Arsitektur Sistem Blockchain untuk Rantai Pasok

Untuk menerapkan blockchain dalam rantai pasok global, diperlukan arsitektur sistem yang matang agar solusi tersebut dapat berfungsi secara efektif dan scalable. Berikut adalah pertimbangan-pertimbangan kunci, serta satu model referensi arsitektur.

Tipe blockchain yang dapat digunakan

Sebelum memilih teknologi, satu keputusan krusial adalah jenis blockchain:

- 1. Blockchain publik (public / permissionless)**

Semua pihak dapat membaca data dan (mungkin) menulis transaksi (bergantung mekanisme). Contoh: Ethereum, Bitcoin.

Kelebihan: transparansi maksimal, desentralisasi tinggi.

Kekurangan: masalah skalabilitas (transaksi per detik terbatas), biaya gas, privasi terbatas.

- 2. Blockchain konsorsium / permissioned (semi-terpusat dengan kontrol izin)**

Hanya node yang diotorisasi (oleh konsorsium) yang dapat menulis atau membaca sebagian data.

Kelebihan: performa transaksi lebih tinggi, kontrol akses, privasi lebih baik.

Kekurangan: kompromi antara transparansi dan kontrol.

- 3. Hybrid / hibrid**

Kombinasi antara blockchain publik dan permissioned — sebagian data umum (hash, ringkasan transaksi) di blockchain publik, sementara data rinci disimpan di sistem internal atau private chain.

Pilihan tergantung karakteristik rantai pasok: jika privat dan melibatkan pihak terbatas, sering digunakan blockchain konsorsium.

Komponen utama arsitektur

Berikut elemen-elemen utama dalam sistem blockchain untuk traceability / transparansi rantai pasok:

1. Node / peserta jaringan

Mencakup semua pelaku (petani, pemasok bahan baku, produsen, distributor, logistik, pengecer, regulator). Masing-masing memiliki node (atau akses ke node) pada jaringan blockchain permissioned.

2. Database off-chain / penyimpanan data besar

Karena blockchain kurang efisien untuk menyimpan data berkapasitas besar (gambar, video, dokumen besar), sering data rinci disimpan off-chain (misalnya IPFS, server terdistribusi, database tradisional). Di blockchain hanya disimpan *pointer* / *hash* dari data tersebut untuk menjaga integritas.

3. Oracle / interface eksternal

Untuk menghubungkan data dunia nyata (sensor IoT, sistem ERP, API eksternal) ke blockchain. Oracle menyediakan mekanisme agar data eksternal bisa dipercaya (misalnya sensor suhu gudang, GPS truk).

4. Smart contract / logika bisnis terprogram

Kontrak otomatis yang menentukan proses seperti pelepasan pembayaran, inspeksi, penalti, status barang, dan lain-lain.

5. Antarmuka UI / aplikasi pengguna

Aplikasi web atau mobile bagi pengguna (misalnya pemasok, petani, konsumen) untuk memantau riwayat barang, memverifikasi keaslian, menginput data input, atau memicu proses tertentu.

6. Mechanism konsensus & validasi

Dalam blockchain permissioned, biasanya menggunakan konsensus seperti PBFT (Practical Byzantine Fault Tolerance), Raft, atau varian konsensus ringan. Node-validasi memverifikasi transaksi sesuai aturan.

7. Keamanan & kontrol akses

- Enkripsi data sensitif
- Pengaturan hak baca / tulis (role-based access)
- Privasi perdagangan (agar rahasia dagang tidak terbuka ke

semua).

- Zero-knowledge proofs (ZKP) atau teknik kriptografi lain agar data rahasia tetap tersembunyi namun bisa dibuktikan benarnya (misalnya metode *PrivChain*) ([arXiv](#)).

Contoh arsitektur referensi

Sebuah studi arsitektural (Wang et al., 2023) mengusulkan *reference architecture* untuk sistem traceability berbasis blockchain dengan pendekatan domain-driven dan microservices. Mereka memecah blockchain menjadi beberapa sub-chain agar performa lebih baik dan sistem lebih modular. ([arXiv](#))

Secara sederhana, arsitektur referensi ini bisa digambarkan:

- **Sub-domain / sub-chain:** masing-masing rantai domain (misalnya produksi, logistik, distribusi) memiliki blockchain sub-chain sendiri yang terhubung ke chain utama (main chain) sebagai integrator.
- **Layer microservices:** modul-modul fungsional (misalnya modul inspeksi, modul logistik, modul sertifikasi) sebagai layanan terpisah, saling komunikasi via API.
- **Pengelompokan data:** data kritis (hash, ringkasan transaksi, status) dicatat di blockchain, sedangkan data besar (dokumen, gambar) disimpan di sistem off-chain dengan referensi ke blockchain.

Arsitektur semacam ini membantu menghadapi tantangan skala, fleksibilitas, serta evolusi bisnis di masa depan.

Mekanisme integrasi IoT / sensor / RFID

Agar sistem blockchain tidak menjadi “kotak hitam” tanpa koneksi ke dunia fisik, integrasi sensor sangat krusial:

- Pada setiap titik penting (misalnya gudang, transportasi, titik inspeksi), perangkat IoT / RFID / sensor merekam informasi (lokasi GPS, suhu, kelembapan, waktu, kondisi udara, wujud barang).

- Data sensor dikirim ke oracle yang akan memverifikasi keasliannya (misalnya melalui enkripsi atau tanda tangan perangkat) sebelum dicatat ke blockchain.
 - Dengan demikian, riwayat kondisi barang sepanjang rantai pasok dapat dipantau bersama secara transparan.
-

Studi Kasus Penerapan: Dari Teori ke Praktik Dunia Nyata

Berikut beberapa contoh nyata penerapan blockchain dalam rantai pasok global atau sektor spesifik, untuk menunjukkan bagaimana teknologi mendorong transparansi, integritas, kecepatan, dan efisiensi.

Kasus 1: IBM Food Trust – Walmart dan pengecekan rantai pasok makanan

Deskripsi & Konteks

IBM meluncurkan platform *IBM Food Trust* yang memungkinkan petani, distributor, pengecer, dan pihak regulator untuk berbagi data terkait alur produksi makanan. Salah satu penerapan awalnya adalah pada rantai pasok sayuran dan buah, misalnya kerja sama Walmart, IBM, dan institusi pangan.

Implementasi & Manfaat

- Walmart menggunakan blockchain berbasis Hyperledger (permissioned) untuk mencatat jejak sayuran dari petani ke rak supermarket. ([IBM](#))
- Dengan sistem ini, waktu yang dibutuhkan untuk melacak asal usul makanan (dari ritel ke petani) dapat dipersingkat secara dramatis (dari beberapa hari/minggu ke hitungan menit).
- Berdasarkan laporan, dalam kasus wabah salmonella melon (2018), bila blockchain sudah digunakan, identifikasi sumber bisa jauh lebih cepat dan menyeluruh. ([PMC](#))

- Karena setiap transaksi (misalnya panen, pengiriman, penerimaan) dicatat, transparansi meningkat, dan risiko manipulasi data berkurang.

Dampak terhadap Penipuan, Kecepatan, Optimalisasi

- Penipuan berupa klaim sumber bahan yang salah dapat dicegah karena data tak bisa diubah tanpa konsensus.
- Kecepatan respon terhadap krisis pangan meningkat (traceability cepat).
- Optimasi logistik: pihak distribusi bisa melihat titik penyumbatan atau keterlambatan dalam alur, dan mengambil tindakan korektif lebih cepat.

Kasus 2: De Beers – Tracr untuk melacak berlian

Deskripsi & Konteks

Industri berlian menghadapi masalah besar: konflik berlian (conflict diamonds), pemalsuan, dan keaslian. De Beers, perusahaan berlian terkemuka, meluncurkan platform bernama *Tracr* untuk melacak berlian dari tambang hingga ke pengecer. ([Wikipedia](#))

Implementasi & Manfaat

- Setiap berlian diberi identitas digital unik yang dicatat dalam blockchain.
- Selama proses pemotongan, pengangkutan, polishing, dan distribusi, setiap langkah dicatat dan diverifikasi.
- Pengecer atau konsumen akhir dapat melakukan verifikasi keaslian dan asal usul berlian tersebut.
- Pada tahap awal, De Beers berhasil melacak 100 berlian dan kemudian mengembangkan sistem agar semua berlian mereka dapat di-trace. ([Wikipedia](#))

Dampak terhadap Penipuan, Kecepatan, Optimalisasi

- Mengurangi risiko pemalsuan berlian atau campuran berlian dari sumber ilegal.

- Proses validasi keaslian menjadi lebih cepat dan otomatis.
- Kepercayaan konsumen terhadap produk premium meningkat karena transparansi asal usul.
- Pihak distribusi atau pengecer mengetahui secara langsung kualitas dan status barang, membantu penyaringan dan logistik yang lebih efisien.

Kasus 3: Volvo – pelacakan kobalt untuk baterai kendaraan listrik

Deskripsi & Konteks

Baterai kendaraan listrik mengandalkan bahan baku seperti kobalt, yang sering diekstraksi di daerah yang bermasalah (hak asasi manusia, kondisi kerja buruk). Untuk memastikan rantai pasok etis, Volvo bekerja dengan pemasok untuk menerapkan sistem pelacakan berbasis blockchain. ([Axios](#))

Implementasi & Manfaat

- Dari tambang kobalt di Republik Demokratik Kongo hingga pabrik baterai, setiap tahap pencatatan data dilakukan di blockchain.
- Informasi asal usul kobalt tidak dapat diubah secara tak terdeteksi.
- Ini memungkinkan Volvo dan pelanggan untuk memverifikasi bahwa bahan baterai berasal dari sumber yang “bertanggung jawab”.

Dampak terhadap Penipuan, Kecepatan, Optimalisasi

- Menekan penipuan terkait sumber bahan baku tidak etis.
- Konsumen dan regulator mendapatkan transparansi terhadap asal bahan.
- Logistik bahan baku menjadi lebih terstruktur karena setiap tahap pergerakan dicatat.

Kasus 4: OpenSC – transparansi produk berbasis lingkungan dan sosial

Deskripsi & Konteks

OpenSC adalah platform blockchain yang didirikan oleh WWF Australia dan BCG Digital Ventures, yang fokus pada transparansi rantai pasok produk-produk komoditas yang berisiko (misalnya kelapa sawit, tuna). ([Wikipedia](#))

Implementasi & Manfaat

- Dalam proyek awal, OpenSC melacak tuna dari nelayan di laut Pasifik, mencatat lokasi penangkapan, izin, jalur distribusi, dan kondisi produk.
- Konsumen dapat memindai QR code pada produk dan melihat riwayat perjalanan ikan tersebut (dengan data yang telah diverifikasi).
- Platform ini membantu perusahaan memverifikasi klaim “ramah lingkungan / etis” mereka.

Dampak terhadap Penipuan, Kecepatan, Optimalisasi

- Meminimalkan risiko penipuan klaim “ramah lingkungan” (greenwashing).
- Mempercepat verifikasi dan komunikasi data kepada konsumen.
- Memungkinkan optimasi distribusi (mengetahui rute, penyimpanan, kondisi) agar produk lebih segar dan minim pemborosan.

Kasus 5: Proyek textile / fashion – rantai pasok multi-tier

Studi akademik menunjukkan implementasi blockchain traceability dalam industri tekstil / pakaian, yang melibatkan banyak lapisan pemasok (serat, benang, kain, produksi, distribusi) ([ScienceDirect](#)).

Implementasi & Temuan

- Peneliti merancang kerangka kerja yang memungkinkan setiap lapisan (misalnya petani kapas, pabrik kain, pemintalan, pengecatan) mencatat data seperti asal bahan, proses pencelupan, kontrol kualitas ke blockchain.

- Dengan struktur multi-tier, konsumen akhir atau auditor dapat jejak produk hingga bahan mentah.
- Tantangan muncul pada integrasi sistem lama (legacy) dan resistensi pemasok berskala kecil yang belum digital.

Dampak terhadap Penipuan, Kecepatan, Optimalisasi

- Menekan pemalsuan label “organik” atau “fair trade”.
- Mempercepat audit dan verifikasi rantai pasok yang panjang.
- Pihak brand bisa mengidentifikasi bottleneck dalam produksi atau distribusi dan memperbaiki efisiensi.

Studi Survei & Meta-Analisis

Dari penelitian kualitatif terhadap banyak kasus industri rantai pasok (sekitar 20 kasus) ditemukan bahwa blockchain benar-benar memperkuat visibilitas, memperkuat kepercayaan, dan dapat meningkatkan performa rantai pasok – namun manfaat tersebut seringkali bergantung pada kesiapan organisasi, harga teknologi, dan insentif ekonomi. ([PMC](#))

Analisis Manfaat: Transparansi, Integritas, Kecepatan & Efisiensi

Berdasarkan kerangka teori dan kasus di atas, berikut analisis mendalam bagaimana blockchain dapat membantu meminimalisir penipuan, meningkatkan kecepatan, dan mengoptimalkan logistik dalam rantai pasok global.

1. Meminimalisir Penipuan & Kecurangan

Penipuan dalam rantai pasok bisa muncul dalam berbagai bentuk: dokumen palsu, klaim asal yang salah, pemalsuan produk, manipulasi data kualitas, atau penggantian barang di tengah jalan. Blockchain membantu melalui:

- **Catatan permanen yang tidak bisa diubah:** setiap entri transaksi tidak bisa dimanipulasi tanpa persetujuan jaringan.

- **Chain of custody (jejak kepemilikan beruntun):** setiap pengalihan kepemilikan barang terekam yang menjadikan rekam jejak transparan.
- **Smart contract sebagai kontrol otomatis:** jika pihak mencoba menyimpang dari proses kontraktual, smart contract bisa menolak transaksi atau men-trigger penalti.
- **Verifikasi eksternal melalui sensor / IoT:** data sensor (misalnya suhu penyimpanan) yang langsung tercatat membantu mendeteksi anomali fisik.
- **Zero-knowledge proofs:** agar rahasia dagang tidak bocor, tetapi keabsahan data tetap bisa dibuktikan. Misalnya metode PrivChain memungkinkan penyimpanan data sensitif secara tersembunyi tetapi tetap dapat diverifikasi. ([arXiv](#))

Dengan langkah-langkah tersebut, risiko kecurangan dapat ditekan secara signifikan.

2. Meningkatkan Kecepatan (Time-to-Trace, Respons Krisis)

Blockchain memungkinkan:

- **Pelacakan asal dan jejak produk secara real time** — data input terjadi pada setiap titik dan langsung tercatat, memungkinkan audit atau traceability instan.
- **Respons terhadap gangguan lebih cepat** — ketika ada insiden (misalnya kontaminasi makanan), identifikasi sumber bisa lebih cepat sehingga recall produk lebih efektif.
- **Penghapusan proses manual & surat-menyurat** — kontrak, verifikasi, dan pemberitahuan otomatis menggunakan smart contract mempercepat siklus transaksi.
- **Kolaborasi lintas organisasi secara bersamaan** — semua pihak melihat status proses secara serentak, mengurangi waktu tunggu komunikasi internal/eksternal.

Contoh: Walmart dalam sistem Food Trust berhasil mempercepat identifikasi asal produk dari hari ke menit. (lfdecentralizedtrust.org)

3. Optimasi Logistik & Efisiensi Operasional

Blockchain mendukung optimalisasi melalui:

- **Visibilitas jalur logistik** — pemantauan pergerakan barang (GPS + sensor) memungkinkan manajemen waktu transit, identifikasi kemacetan atau rute sub-optimal.
- **Koordinasi antar pihak** — karena semua pihak berbagi data, kemungkinan duplikasi atau kesalahan sinkronisasi berkurang.
- **Prediksi dan analitik** — data historis dari blockchain bisa dianalisis untuk memodelkan pola permintaan, waktu transit, dan perkiraan stok, sehingga perencanaan logistik lebih baik.
- **Penjadwalan otomatis** — smart contract bisa men-trigger pengiriman atau pelepasan barang berdasarkan kondisi tertentu (misalnya waktu tiba, kualitas).
- **Pengurangan biaya overhead & audit** — audit lebih cepat, klaim sengketa lebih mudah diverifikasi, dan biaya administrasi dapat ditekan.
- **Manajemen risiko dan kontinjensi** — ketika terjadi gangguan (cuaca buruk, bencana alam, perang), semua pihak bisa segera melihat titik kemacetan dan merespons bersama-sama.

Sinergi: Transparansi + Integritas + Kecepatan = Keuntungan Kompetitif

Jika dibandingkan sistem tradisional, blockchain membawa sinergi: data yang terpercaya (integritas) yang bisa diakses bersama (transparansi) dan proses yang otomatis – menghasilkan efisiensi dan keunggulan kompetitif. Organisasi yang menerapkan lebih awal bisa:

- Memperkuat reputasi (brand trust)
- Mengurangi kerugian akibat fraud
- Mempercepat siklus produksi dan distribusi

- Mengurangi risiko regulasi dan audit
 - Meningkatkan fleksibilitas dalam menghadapi disrupsi global
-

Tantangan & Batasan Implementasi

Namun, integrasi blockchain dalam rantai pasok global tidaklah mudah. Berikut tantangan utama dan strategi mitigasi:

Tantangan Teknis & Skalabilitas

- 1. Volume transaksi besar & throughput rendah**
Blockchain (terutama publik) biasanya memiliki batasan transaksi per detik (TPS). Jika rantai pasok menghasilkan transaksi dalam jumlah besar, sistem blockchain bisa kewalahan.
- 2. Biaya operasional & penyimpanan**
Menyimpan data besar langsung di blockchain mahal. Solusi biasanya menyimpan data off-chain dan hanya menyimpan hash-nya di blockchain.
- 3. Interoperabilitas dan standarisasi**
Setiap jaringan blockchain atau perusahaan mungkin memilih protokol yang berbeda, sehingga integrasi lintas jaringan menjadi sulit.
- 4. Privasi & rahasia dagang**
Pihak tidak ingin membuka seluruh data operasi mereka (biaya, margin, sumber pemasok) ke pihak lain. Oleh karena itu teknik seperti ZKP, enkripsi selektif, atau blockchain hibrid diperlukan (misalnya hanya hashing data rahasia).
- 5. Integrasi dengan sistem lama (legacy systems)**
Banyak pemasok (terutama di negara berkembang) belum memiliki sistem digital. Integrasi dengan ERP lama atau input manual menjadi tantangan besar.
- 6. Keandalan input data (“the oracle problem”)**
Jika data yang masuk ke blockchain (misalnya dari sensor,

manual input) salah atau dimanipulasi di titik awal (garbage in, garbage out), maka blockchain tidak bisa menjamin keaslian data tersebut.

7. Pengelolaan konsensus & tata kelola

Bagaimana membentuk konsorsium, hak suara, validasi transaksi, dan tata kelola agar tidak terjadi konflik antar node.

Tantangan Organisasi & Kelembagaan

1. Resistensi terhadap perubahan

Beberapa aktor mungkin takut kehilangan kontrol atau keuntungan. Menerapkan sistem bersama berarti transparansi antar pesaing.

2. Kepedulian biaya awal (CAPEX / OPEX)

Investasi teknologi, pelatihan, serta pemeliharaan mungkin tinggi. Pihak kecil mungkin enggan bergabung.

3. Inisiatif bersama & insentif kolaboratif

Agar jaringan berjalan, harus ada insentif agar semua pihak (termasuk pihak lemah) mau ikut. Tanpa partisipasi memadai, jaringan terbatas akan kurang efektif.

4. Aspek hukum & regulasi lintas negara

Rantai pasok global melintasi yurisdiksi berbeda. Masalah kepemilikan data, regulasi privasi data, kepatuhan bea cukai harus dicermati.

5. Standar dan adopsi industri

Agar sistem benar-benar bermanfaat, harus ada standar bersama (format data, protokol) agar jaringan perusahaan berbeda bisa saling “berbicara”.

Langkah-Langkah Strategis Implementasi

Untuk organisasi / negara / aliansi perusahaan yang ingin menerapkan blockchain di rantai pasok, berikut langkah strategis yang disarankan:

1. Identifikasi segmen rantai pasok kritis

Mulailah dari produk atau bagian rantai dengan risiko tinggi: bahan baku mahal, rawan pemalsuan, atau regulasi ketat.

2. Lakukan studi kelayakan & proof-of-concept (PoC)

Rancang pilot kecil dengan beberapa pemasok terpilih agar dapat diuji tanpa risiko besar.

3. Bentuk konsorsium / aliansi stakeholder

Ajak pemasok, distributor, regulator, lembaga sertifikasi untuk bersama menyusun aturan tata kelola (governance model), hak dan kewajiban, insentif.

4. Desain arsitektur teknis modular

Gunakan pendekatan microservices, sub-chain, dan integrasi off-chain agar sistem fleksibel dan tahan skala.

5. Pembangunan antarmuka pengguna & pengalaman adopsi

Pastikan UI/UX mudah digunakan untuk berbagai profil pengguna (pemasok kecil, petani, distributor).

6. Pelatihan & edukasi

Investasikan sumber daya pada pelatihan para pemangku kepentingan agar mereka memahami manfaat dan cara penggunaan.

7. Regulasi & kepatuhan

Pastikan desain sistem mematuhi regulasi data lokal (privasi, kepatuhan bea cukai, standardisasi industri) di setiap negara dalam rantai pasok.

8. Monitoring & evaluasi

Pantau metrik kinerja: pengurangan fraud, waktu traceability, biaya logistik, adopsi node, dan sesuaikan iterasi sistem.

9. Skalabilitas bertahap & ekspansi jaringan

Setelah pilot sukses, perluas ke lebih banyak pihak secara bertahap agar jaringan tumbuh dan manfaatnya makin besar.

Kasus Terintegrasi: Suatu Simulasi Rantai Pasok Global

Untuk memperjelas bagaimana blockchain dapat bekerja secara terpadu, saya sajikan narasi simulasi:

Konteks: Perusahaan “Global Coffee Co.” berbasis Eropa ingin menjual kopi “single-origin” premium kepada konsumen di Amerika dan Asia, dengan klaim bahwa kopi tersebut ditanam secara fair-trade dan berkelanjutan. Untuk menjaga reputasi dan menambah nilai, mereka ingin menggunakan blockchain untuk transparansi rantai pasoknya.

Langkah Implementasi:

1. Desain jaringan blockchain konsorsium

- Para petani, koperasi, penggilingan, pemroses, eksportir, importir, distributor, pengecer, dan lembaga sertifikasi bergabung sebagai node dalam konsorsium permissioned.
- Setiap node memiliki hak untuk menulis dan membaca data sesuai peran.

2. Penandaan awal & input data

- Pada tahap panen, petani memindai sertifikat tanah, catat kuantitas panen, kualitas biji kopi, tanggal, lokasi GPS ke dalam aplikasi mobile.
- Data ini dikirim ke blockchain via oracle yang memverifikasi keasliannya.

3. Proses pengolahan & transit

- Ketika kopi dibawa ke pabrik pengolahan, status pengiriman (misalnya berat, tanggal, waktu tiba) dicatat.
- Sensor suhu dan kelembapan di kontainer pengangkutan juga mencatat kondisi (via IoT).
- Jika kondisi penyimpanan melampaui batas tertentu (misalnya suhu terlalu tinggi), smart contract bisa memicu alarm atau penalti terhadap pihak pengirim.

4. Ekspor & bea cukai

- Dokumen ekspor, sertifikasi fair-trade, dan izin bea cukai disimpan secara digital dan terkait (hash-nya) di blockchain.
- Pihak regulator dapat mengakses status dokumen secara real time dan memverifikasinya tanpa proses manual.

5. Distribusi & ritel

- Pada saat produk tiba di pengecer, pengecer dapat memindai QR code untuk melihat jejak kopi dari petani hingga rak.
- Konsumen dapat verifikasi klaim (fair-trade, asal, kualitas) melalui aplikasi.

6. Audit & kepatuhan

- Auditor independen dapat mengakses data read-only dan memverifikasi bahwa semua proses telah sesuai standar (misalnya sertifikasi organik, standar lingkungan).
- Potensi fraud atau anomali dapat dianalisis dari data historis blockchain.

Dampak dalam simulasi ini:

- **Penipuan dikurangi:** Tidak ada manipulasi data asal usul atau kualitas di tengah jalan karena semua transaksi diverifikasi bersama.
- **Kecepatan traceability:** Jika suatu batch kopi terbukti mengandung kontaminan, identifikasi sumber batch dan pengunjung rantai dapat terjadi dalam hitungan menit, bukan hari atau minggu.
- **Efisiensi logistik:** Setiap pihak bisa memantau rute dan kondisi transit, memperbaiki rute atau penyimpanan agar kualitas tidak menurun.
- **Kepercayaan konsumen:** Konsumen akhir mendapatkan visibilitas penuh terhadap perjalanan produknya, yang meningkatkan nilai merek dan willingness-to-pay (kesediaan bayar).

- **Audit lebih mudah dan murah:** Proses audit tidak memerlukan pemeriksaan manual semua dokumen fisik; data sudah tersedia di ledger.

Narasi ini mencerminkan bagaimana elemen teknis dan manajerial bersinergi bila implementasi berjalan dengan baik.

Tantangan Lanjutan & Tren Riset Terkini

Seseorang yang mendalami area ini, khususnya dari perspektif akademik atau penelitian manajemen, perlu memahami tren dan batasan yang masih terbuka:

1. Efisiensi dan skalabilitas

Ada riset yang mengusulkan teknik efisiensi seperti pemecahan (chunking) data dan pencarian paralel, yang dapat menurunkan overhead waktu hingga ~85 % dibanding pencarian linear tradisional. ([arXiv](#))

2. Privasi dan perlindungan data rahasia

Model seperti *PrivChain* memungkinkan penyimpanan data rahasia (misalnya margin harga, identitas pemasok) sambil tetap bisa membuktikan asal usul barang melalui zero-knowledge proofs. ([arXiv](#))

3. Desentralized Identifiers & identitas digital rantai pasok

Metode seperti *DIDChain* menggabungkan blockchain dengan identitas desentralisasi (decentralized identifiers, DID) dan sistem penyimpanan file terdistribusi (IPFS). Dengan demikian, rantai pasok dapat mengelola data secara terbuka tetapi tetap mempertahankan kontrol atas data identitas tertentu. ([arXiv](#))

4. Arsitektur modular & sub-chain

Untuk mengatasi kompleksitas dan beban data, sistem blockchain bisa dipecah menjadi beberapa sub-chain yang saling

terhubung (main chain sebagai integrator). Ini membantu modularitas, performa, dan evolusi sistem ke depan. ([arXiv](#))

5. Model insentif & token ekonomi

Untuk mendorong partisipasi node (terutama pemasok kecil), mungkin diperlukan insentif berbasis token atau mekanisme reward lain agar mereka mau ikut sistem blockchain.

6. Interoperabilitas lintas jaringan & protokol standar

Penelitian mengenai bridging antar blockchain, interoperabilitas data, dan protokol standar rantai pasok menjadi penting agar jaringan perusahaan berbeda bisa saling terhubung.

7. Evaluasi dampak empiris jangka panjang

Banyak studi masih bersifat kasus pilot atau studi kualitatif. Masih dibutuhkan penelitian empiris longitudinal mengenai ROI (return on investment), pengurangan kerugian, dan adopsi skala besar.

Rangkuman & Implikasi Manajerial

Intisari

- Blockchain, dengan fitur desentralisasi, imutabilitas, konsensus, dan smart contract, merupakan teknologi yang sangat potensial untuk mendukung **transparansi** dan **integritas** dalam rantai pasok global.
- Bila dirancang dan diimplementasikan dengan tepat, blockchain dapat meminimalkan penipuan, mempercepat traceability dan respons, serta mengoptimalkan logistik dan koordinasi antar pelaku.
- Namun, tantangan teknis (skala, privasi, integrasi sistem lama), tantangan organisasi (resistensi, biaya, insentif), dan aspek regulasi menjadi hambatan yang harus dikelola dengan cermat.

Rudy C Tarumíngkeng: Blockchain untuk Transparansi dan
Integritas Rantai Pasok Global

- Strategi implementasi yang disarankan adalah dimulai dari pilot terfokus, membentuk konsorsium, merancang arsitektur modular, dan menetapkan tata kelola bersama.
- Riset mutakhir terus menggarap isu efisiensi, privasi, identitas desentralisasi, interoperabilitas, dan insentif ekonomi agar solusi blockchain lebih matang dan dapat diadopsi secara luas.

Implikasi bagi Pengajaran & Penelitian (di Bidang Manajemen)

- Topik ini sangat cocok sebagai materi di jurusan manajemen rantai pasok, sistem informasi manajemen, dan innovation management.
- Mahasiswa dapat diarahkan untuk merancang studi kasus simulatif (misalnya rantai pasok pangan, tekstil, elektronik), mengkaji feasibility dan tantangan implementasi.
- Penelitian empiris dapat diarahkan pada studi longitudinal setelah pilot blockchain dijalankan di perusahaan nyata (mengkaji dampak terhadap biaya, waktu, fraud, kepuasan konsumen).
- Kolaborasi interdisipliner (teknologi blockchain, IoT, manajemen, kebijakan publik) perlu diperkuat agar solusi tidak sekadar teknis tetapi juga sesuai konteks bisnis dan regulasi lokal.

Jika Bapak / Ibu ingin, saya dapat menyusun versi ringkasan + model implementasi khusus untuk konteks Indonesia (termasuk tantangan lokal seperti infrastruktur digital, regulasi, kesiapan pemasok skala kecil). Apakah Anda ingin saya lanjutkan dengan versi kontekstual Indonesia?

Berikut **lanjutan lengkap versi kontekstual Indonesia** dari makalah “*Blockchain untuk Transparansi dan Integritas Rantai Pasok Global*”, yang kini difokuskan pada **penerapan di Indonesia**: mencakup konteks ekonomi nasional, kesiapan infrastruktur digital, peluang di berbagai sektor strategis, hambatan lokal, serta arah kebijakan masa depan.

Bagian II: Blockchain untuk Transparansi dan Integritas Rantai Pasok di Indonesia

1. Konteks Indonesia: Mengapa Blockchain Relevan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan **struktur ekonomi berbasis komoditas** yang sangat kompleks: dari sektor pertanian, perikanan, kehutanan, pertambangan, hingga industri manufaktur dan ekspor digital. Rantai pasok komoditas tersebut tersebar lintas pulau, melibatkan jutaan pelaku UMKM, lembaga sertifikasi, eksportir, dan instansi pemerintah.

Masalah klasik yang dihadapi dalam rantai pasok nasional meliputi:

- **Kurangnya transparansi** antara pemasok, eksportir, dan pemerintah;
- **Banyaknya pihak perantara** sehingga margin petani kecil;
- **Sulitnya penelusuran asal bahan baku** (traceability) terutama untuk komoditas ekspor seperti sawit, kopi, kakao, tuna, udang, dan hasil tambang;
- **Dokumentasi manual dan rawan manipulasi**;
- **Tingginya biaya transaksi** akibat birokrasi dan sistem yang tidak terintegrasi antar instansi (Bea Cukai, Kementan, KLHK, BKPM, dsb.).

Blockchain menawarkan solusi sistemik atas persoalan-persoalan tersebut karena ia **menciptakan “ledger nasional” terdistribusi**, di mana data rantai pasok dapat dibagikan lintas lembaga dan sektor dengan **jaminan integritas dan transparansi**.

Konteks geopolitik juga mendukung urgensi ini. **Pasar global menuntut jejak keberlanjutan (sustainability traceability)** dalam setiap produk ekspor. Uni Eropa, misalnya, telah mengeluarkan regulasi *EU Deforestation-Free Regulation (EUDR)* yang mewajibkan semua produk yang masuk (seperti kopi, kakao, sawit, kayu, karet) memiliki data asal-usul yang terverifikasi.

Tanpa sistem transparan seperti blockchain, **produk Indonesia berisiko ditolak di pasar internasional**.

Dengan demikian, adopsi blockchain bukan hanya untuk efisiensi, tetapi juga **strategi bertahan hidup ekonomi ekspor nasional**.

2. Sektor-sektor Potensial di Indonesia

Berikut adalah lima sektor utama Indonesia yang paling potensial untuk penerapan blockchain dalam rantai pasok:

A. Sektor Pertanian dan Perkebunan

Indonesia merupakan eksportir besar komoditas seperti kopi, kakao, teh, rempah, dan kelapa sawit. Namun, **rantai pasok pertanian sangat panjang dan terfragmentasi**.

Permasalahan:

- Petani sering tidak mendapatkan harga wajar karena posisi tawar rendah.
- Data hasil panen tidak tercatat dengan baik.
- Sertifikasi organik atau fair trade sering dipalsukan.
- Eksportir sulit membuktikan bahwa produknya berasal dari sumber berkelanjutan.

Solusi Blockchain:

1. Pencatatan digital di tingkat petani:

Petani mencatat hasil panen, tanggal, dan lokasi GPS melalui aplikasi berbasis blockchain.

Data ini menjadi rekam awal rantai pasok (*farm-to-fork*).

2. Integrasi dengan lembaga sertifikasi:

Sertifikat organik, bebas pestisida, atau *sustainability* disimpan di blockchain sehingga tidak bisa dimanipulasi.

3. Jejak transaksi dan harga:

Pembeli dapat melacak harga dan asal produk, sehingga margin lebih adil.

4. Transparansi ekspor:

Kementan, Bea Cukai, dan Kemenperin dapat mengakses data real-time untuk audit ekspor.

Studi Kasus Indonesia:

Proyek *Blockchain Kopi Kintamani* di Bali (pilot oleh Bank Indonesia dan startup HARA) mencatat data pertanian dari petani kopi ke pembeli. Hasilnya:

- Proses sertifikasi lebih cepat;
- Konsumen Jepang dan Eropa bisa menelusuri asal biji kopi;
- Petani memperoleh reputasi digital dan harga jual lebih tinggi.

B. Sektor Perikanan dan Kelautan

Indonesia memiliki rantai pasok laut yang kompleks: nelayan, kapal, pelabuhan, cold storage, eksportir, hingga ritel global.

Masalah utama adalah **penangkapan ilegal (illegal fishing)** dan **pemalsuan asal ikan**.

Tantangan:

- Data hasil tangkapan manual.

- Sulit membuktikan asal ikan (zona tangkap).
- Dokumen izin kapal dan ekspor sering bermasalah.

Solusi Blockchain:

1. **Identitas digital untuk kapal dan hasil tangkapan:**
Data posisi GPS kapal dan izin tercatat otomatis ke blockchain.
2. **Integrasi sensor dan IoT:**
Suhu cold storage dan waktu transit ikan terekam real-time.
Jika terjadi deviasi (suhu naik), data alarm otomatis terkirim.
3. **Smart contract untuk ekspor:**
Pembayaran ke nelayan baru berjalan jika data izin dan suhu sesuai standar.

Studi Kasus Indonesia:

WWF Indonesia bersama *OpenSC* meluncurkan proyek *Tuna Blockchain* di Maluku dan Bitung.

Hasilnya:

- Jejak ikan dapat ditelusuri dari nelayan hingga restoran di Sydney.
- Meningkatkan kredibilitas ekspor tuna Indonesia di pasar Australia dan Eropa.
- Menekan penipuan label “tuna ramah lingkungan”.

C. Sektor Energi dan Pertambangan

Blockchain dapat membantu **penelusuran batu bara, nikel, dan kobalt** yang digunakan untuk baterai kendaraan listrik — industri masa depan Indonesia.

Tantangan:

- Sulit membuktikan sumber tambang legal atau tidak.
- Dokumen rantai pengiriman sering dipalsukan.

- Ketidakpastian data volume dan kualitas bijih tambang.

Solusi Blockchain:

1. Pencatatan transaksi logistik tambang:

Dari lokasi tambang, pelabuhan, kapal, hingga smelter dicatat secara permanen.

Sistem GPS dan sensor berat digunakan untuk mencegah manipulasi data.

2. Verifikasi sertifikasi lingkungan:

Laporan AMDAL, izin ekspor, dan audit lingkungan tersimpan secara transparan.

3. Smart contract untuk ekspor:

Ekspor hanya disetujui jika semua dokumen valid di blockchain.

Dampak:

- Meningkatkan kredibilitas Indonesia sebagai pemasok bahan baku EV global.
- Mengurangi praktik tambang ilegal dan ekspor liar.

D. Sektor Farmasi dan Kesehatan

Pandemi COVID-19 menyingkap betapa sulitnya memverifikasi rantai pasok vaksin dan obat.

Potensi Blockchain:

- Menjamin **keaslian obat dan vaksin** melalui kode digital unik;
- Memverifikasi asal-usul bahan aktif (API);
- Mengontrol suhu penyimpanan dan distribusi vaksin;
- Menghindari pemalsuan label dan pengalihan ilegal.

Implementasi Awal:

BPOM telah meneliti sistem *pharma blockchain* bersama universitas dan startup Indonesia untuk verifikasi *serialisasi obat*.

Jika diintegrasikan dengan e-logistics dan rumah sakit, akan tercipta **sistem kepercayaan kesehatan nasional** berbasis blockchain.

E. Sektor Logistik dan Kepabeanan

Rantai pasok ekspor-impor Indonesia masih sarat birokrasi. Dokumen ekspor sering perlu diverifikasi manual oleh banyak lembaga. Akibatnya, waktu *custom clearance* bisa mencapai 4–7 hari, jauh lebih lama dibanding Singapura (1 hari).

Solusi Blockchain:

- **Satu platform ledger bersama** antara Bea Cukai, Pelindo, Kemenhub, dan eksportir.
- Semua dokumen ekspor (invoice, bill of lading, sertifikat) disimpan di blockchain.
- Validasi otomatis mempercepat proses dan mengurangi potensi korupsi.

Studi Kasus Global yang Dapat Diadaptasi:

Platform *TradeLens* (kerja sama IBM–Maersk) berhasil mempercepat pengiriman dokumen pelayaran dari 10 hari menjadi <1 hari. Indonesia dapat mengembangkan versi nasionalnya (*TradeChain Indonesia*) di bawah Kementerian Perdagangan.

3. Kebijakan dan Inisiatif Pemerintah

a. Blueprint “Indonesia Digital 2045” dan “Ekonomi Digital Nasional”

Kementerian Kominfo dan Kementerian Koordinator Perekonomian telah menyusun *Blueprint Ekonomi Digital Indonesia 2045*, yang memproyeksikan bahwa digitalisasi dapat menyumbang **USD 315 miliar (20% PDB)**.

Blockchain dimasukkan dalam agenda transformasi digital nasional sebagai **teknologi strategis pendukung kepercayaan digital**.

b. Dukungan Bank Indonesia dan Otoritas Jasa Keuangan (OJK)

- **Bank Indonesia** melalui inisiatif *Project Garuda* meneliti integrasi teknologi blockchain dan *central bank digital currency (CBDC)* untuk sistem pembayaran nasional.
- **OJK** memfasilitasi ekosistem *fintech regulatory sandbox*, termasuk startup blockchain di sektor keuangan dan rantai pasok.

c. Gerakan Nasional “Satu Data Indonesia” (SDI)

SDI bertujuan menyatukan berbagai sumber data pemerintah agar interoperabel.

Blockchain dapat menjadi *lapisan verifikasi data publik*, menjamin keutuhan data antar lembaga (Kementan, KLHK, Kemenperin).

Contohnya: sertifikat halal, izin usaha, izin tambang, dan sertifikat lahan dapat diverifikasi lintas kementerian tanpa duplikasi.

d. Dukungan Lembaga Riset dan Akademik

Beberapa universitas (UI, ITB, Binus, Unair) telah membentuk **Pusat Kajian Blockchain**.

Penelitian diarahkan pada:

- Integrasi blockchain dengan IoT di agrikultur;
- Blockchain untuk logistik pelabuhan;
- Blockchain untuk kredensial akademik (ijazah digital).

Inisiatif akademik ini menciptakan sinergi antara riset, industri, dan kebijakan.

4. Hambatan Implementasi di Indonesia

Meskipun peluang besar, penerapan blockchain nasional menghadapi beberapa hambatan khas:

A. Infrastruktur Digital yang Belum Merata

Masih banyak wilayah pedesaan tanpa akses internet stabil. Blockchain memerlukan konektivitas tinggi untuk sinkronisasi node.

Solusi: penerapan *light node* atau sistem *offline data capture* yang disinkronkan secara periodik.

B. Kesiapan SDM dan Literasi Digital

Sebagian besar pelaku UMKM, petani, dan nelayan belum familiar dengan sistem digital.

Perlu program pelatihan nasional, misalnya “*Digital Farmer Academy*” yang mengajarkan penggunaan aplikasi blockchain secara sederhana.

C. Resistensi Institusional

Lembaga-lembaga pemerintah cenderung mempertahankan sistem sendiri (*data silo*). Integrasi blockchain memerlukan *governance reform* agar antarinstansi mau berbagi data.

D. Aspek Regulasi

Belum ada payung hukum spesifik untuk penggunaan blockchain dalam rantai pasok.

Regulasi masih fokus pada aset kripto (Bappebti).

Solusi: membentuk *Kerangka Regulasi Blockchain Nasional* di bawah Kemenkominfo dan Bappenas untuk sektor non-keuangan.

E. Privasi dan Keamanan Data

Blockchain bersifat transparan, sementara perusahaan butuh kerahasiaan data komersial.

Perlu model *permissioned blockchain* (misalnya Hyperledger Fabric) agar akses data dapat diatur secara granular.

F. Biaya Awal Implementasi

Biaya membangun jaringan node, server, pelatihan, dan integrasi ERP bisa tinggi.

Perlu insentif pajak atau subsidi transformasi digital untuk pelaku kecil.

5. Strategi Implementasi Nasional: “Blockchain Supply Chain Roadmap Indonesia 2030”

Berikut usulan kerangka kerja strategis berbasis best practice global dan kebutuhan lokal Indonesia.

Tahap	Periode	Fokus Program	Keluaran Utama
1. Persiapan dan Regulasi	2025–2026	Menetapkan kebijakan nasional dan sandbox untuk blockchain rantai pasok.	Peraturan Menteri tentang blockchain non-keuangan, pedoman tata kelola data.
2. Pilot Project Sektor Prioritas	2026–2028	Implementasi pada pertanian, perikanan, tambang, dan logistik.	Sistem traceability nasional (misal: <i>AgriChain</i> , <i>FishChain</i>).
3. Integrasi Lintas Lembaga	2028–2030	Integrasi blockchain antar kementerian dan BUMN logistik.	Platform <i>One Blockchain Indonesia</i> untuk ekspor-impor.
4. Ekspansi Regional & Ekspor Digital	2030–2035	Interoperabilitas dengan blockchain regional ASEAN.	Sertifikasi produk Indonesia diterima otomatis oleh mitra dagang ASEAN.
5. Keberlanjutan & Inovasi Lanjut	2035–2045	Integrasi AI dan Big Data untuk analitik rantai pasok.	Indonesia sebagai hub blockchain rantai pasok Asia.

6. Integrasi Blockchain–AI–IoT: Masa Depan Supply Chain 5.0 Indonesia

Menuju 2045, dunia memasuki era **Supply Chain 5.0**, di mana sistem logistik tidak hanya efisien tetapi juga berkelanjutan dan cerdas. Blockchain akan menjadi *trust layer*, IoT menjadi *data layer*, dan AI menjadi *intelligence layer*.

Sinergi 3 Teknologi:

1. **IoT (Internet of Things):** Sensor di kapal, truk, gudang, dan toko ritel mengirimkan data real-time (lokasi, suhu, tekanan).
2. **Blockchain:** Semua data sensor dicatat dan diverifikasi tanpa manipulasi.
3. **AI (Artificial Intelligence):** Menganalisis data untuk memprediksi permintaan, meminimalkan stok mati, dan mengoptimalkan rute.

Contoh Implementasi:

- **Pelindo & Pos Indonesia:** jaringan logistik nasional dengan sistem AI-route optimization, blockchain traceability, dan IoT monitoring suhu barang.
- **Telkom Indonesia:** menyediakan infrastruktur cloud blockchain nasional (B-Cloud) untuk perusahaan lokal.
- **BUMN pangan (Bulog, ID Food):** memanfaatkan blockchain untuk pelacakan stok beras dan distribusi subsidi.

7. Dampak Sosial-Ekonomi

a. Pemberdayaan UMKM

Blockchain memberi identitas digital kepada UMKM (micro-credentials) yang meningkatkan akses pembiayaan (karena data usaha transparan). Contoh: koperasi kopi di Toraja dapat menunjukkan rekam transaksi digital kepada bank untuk memperoleh kredit usaha rakyat (KUR).

b. Kepercayaan Konsumen

Konsumen domestik makin peduli terhadap etika dan keberlanjutan produk. QR code berbasis blockchain memungkinkan mereka memilih produk lokal berkualitas dan beretika.

c. Efisiensi dan Daya Saing Nasional

Blockchain memotong biaya transaksi antar lembaga hingga 30–50%. Efisiensi ini dapat meningkatkan daya saing ekspor Indonesia di pasar global yang menuntut transparansi.

d. Antikorupsi dan Tata Kelola

Rantai pasok pemerintah (misalnya pengadaan barang BUMN) dapat diaudit dengan blockchain, sehingga mengurangi peluang mark-up dan korupsi.

8. Tantangan Etis dan Filosofis

Dalam konteks Indonesia yang berbasis nilai sosial dan gotong royong, muncul pertanyaan filosofis:

Apakah blockchain (yang berbasis algoritma dan otomatisasi) dapat sejalan dengan nilai kepercayaan sosial tradisional?

Jawabannya: **ya, bila blockchain digunakan bukan untuk menggantikan kepercayaan manusia, tetapi untuk meneguhkan akuntabilitas.**

Blockchain bukanlah pengganti moral, melainkan “pengingat digital” atas janji sosial dan bisnis.

Dalam konteks Pancasila, teknologi ini memperkuat sila ke-5: *keadilan sosial bagi seluruh rakyat Indonesia* — karena transparansi mencegah eksploitasi dan ketimpangan informasi.

9. Rekomendasi Kebijakan

- 1. Membentuk Badan Koordinasi Blockchain Nasional (BKBN):**
Sebagai regulator lintas sektor, mengawasi tata kelola, sertifikasi, dan keamanan blockchain.
- 2. Standarisasi Data Nasional:**
Format data agrikultur, logistik, dan ekspor harus diatur agar interoperabel antar blockchain berbeda.

3. Insentif Pajak dan Pendanaan Inovasi:

Startup blockchain yang berfokus pada rantai pasok mendapat potongan pajak dan akses ke dana inovasi pemerintah.

4. Kolaborasi Akademik-Industrialisasi:

Universitas menjadi *innovation lab* untuk proyek percontohan blockchain industri.

5. Diplomasi Ekonomi Digital ASEAN:

Mendorong “ASEAN Blockchain Supply Chain Framework” agar Indonesia menjadi pemimpin regional dalam sistem verifikasi produk lintas negara.

10. Kesimpulan Besar: Jalan Indonesia Menuju Transparansi Global

Blockchain menghadirkan **era baru kepercayaan digital** — dari petani hingga pelanggan global.

Bagi Indonesia, teknologi ini tidak hanya soal efisiensi, tetapi juga tentang **martabat ekonomi bangsa**: membangun kepercayaan dunia terhadap produk lokal, memberdayakan produsen kecil, dan memperkuat tata kelola publik.

Jika dikelola dengan visi jangka panjang, blockchain dapat menjadikan rantai pasok Indonesia **lebih bersih, cepat, dan adil** — sekaligus menopang visi *Golden Indonesia 2045*.

**“Transparansi adalah mata uang baru kepercayaan.
Blockchain adalah infrastrukturnya.”**

— *Rudy C. Tarumingkeng, 2025*

Timeline Roadmap (ringkas naratif)

Fase 1 — Persiapan & Regulasi (2025–2026)

- Kerangka regulasi blockchain **non-keuangan** untuk rantai pasok; pedoman tata kelola & *data sharing*.
- **Regulatory sandbox** lintas sektor (Kominfo, BI, OJK, Bappebti) untuk uji *use case*.
- Bentuk **Badan Koordinasi Blockchain Nasional (BKBN)** sebagai orkestrator standar & interoperabilitas.
- Standar **data & API** nasional; prinsip privasi (permissioned, selective disclosure, ZKP).
- Target tonggak: **draft regulasi** (2025.5); **sandbox berjalan** (2026.5).

Fase 2 — Pilot Sektor Prioritas (2027–2028)

- **AgriChain** (kopi, kakao, sawit) & **FishChain** (tuna, udang) untuk *farm/sea-to-fork*.
- **MineChain** (nikel/kobalt) & **PharmaChain** (serialisasi obat/vaksin).
- **TradeChain** untuk dokumen ekspor-impor & pelabuhan; integrasi **IoT** (GPS, suhu, kelembapan).
- Target tonggak: **pilot multi-sektor** (2027.5); **uji TradeChain di pelabuhan utama** (2029.5).

Fase 3 — Integrasi Lintas Lembaga (2029–2030)

- **One Blockchain Indonesia v1**: Bea Cukai, Pelindo, Kemenhub, Kementan, KLHK, Kemenperin, e-Gov (**Satu Data Indonesia**).
- *Smart contract* untuk pembayaran terprogram & kepatuhan; kesiapan **EUDR** & standar keberlanjutan global.
- Target tonggak: **OBI v1** (2030.5).

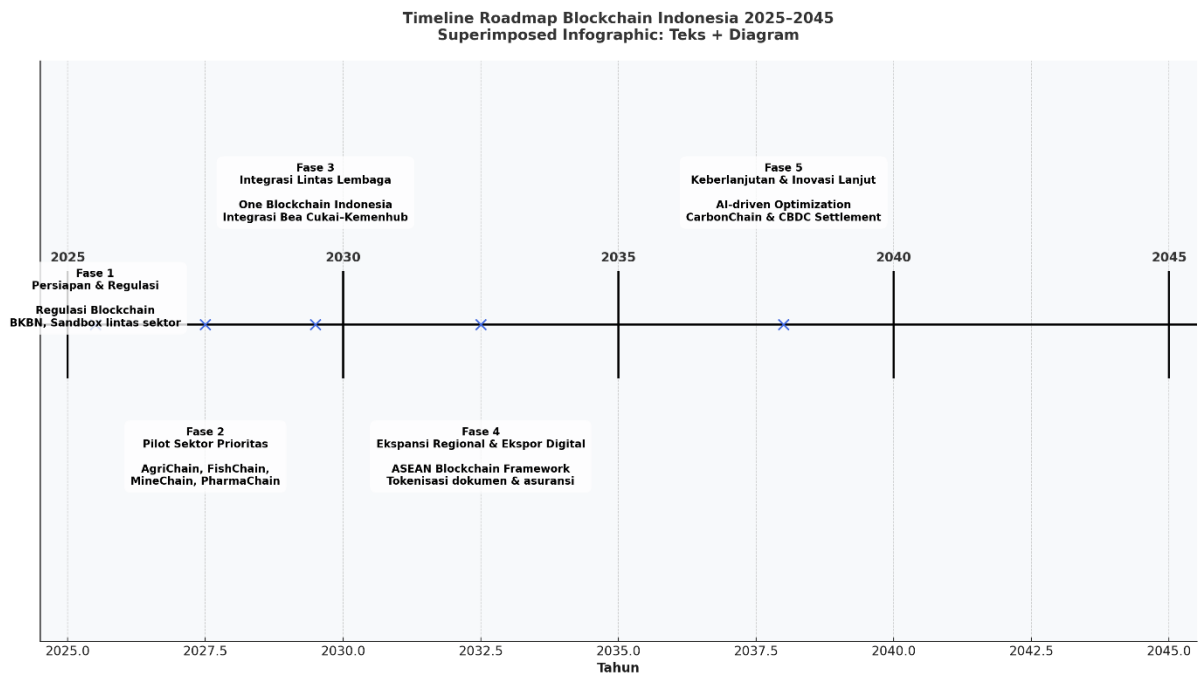
Fase 4 — Ekspansi Regional & Ekspor Digital (2031–2035)

- **ASEAN Blockchain Supply Chain Framework:** *mutual recognition* sertifikasi & *traceability* lintas negara.
- Tokenisasi dokumen pelayaran & **asuransi maritim**; skema insentif UMKM/koperasi berbasis kredensial digital.
- Target tonggak: **interop ASEAN awal (2032.0); tokenisasi dokumen & asuransi (2033.5).**

Fase 5 — Keberlanjutan & Inovasi Lanjut (2036–2045)

- **AI-driven optimization** untuk rute, permintaan, dan stok; *predictive logistics* nasional.
- Privasi industri **ZKP-at-scale** & *selective disclosure*.
- **CarbonChain** untuk jejak karbon & perdagangan karbon terverifikasi.
- Integrasi **CBDC** untuk *cross-border fast settlement* perdagangan.
- Target tonggak: **AI-route optimization nasional (2038.0); verifikasi jejak karbon lintas sektor (2040.0); CBDC settlement lintas batas (2043.0); Supply Chain 5.0 Indonesia (2045.0).**

Rudy C Tarumingkeng: Blockchain untuk Transparansi dan Integritas Rantai Pasok Global



GLOSARIUM

Istilah

Penjelasan Akademik

Blockchain

Teknologi basis data terdistribusi yang mencatat transaksi dalam bentuk blok yang saling terhubung (chained blocks) dengan sistem kriptografi, menjamin data tidak dapat diubah tanpa konsensus seluruh jaringan.

Smart Contract

Potongan kode atau protokol otomatis di blockchain yang menjalankan kontrak secara mandiri ketika kondisi tertentu terpenuhi tanpa perantara.

Rudy C Tarumingkeng: Blockchain untuk Transparansi dan
Integritas Rantai Pasok Global

Istilah	Penjelasan Akademik
Ledger Terdistribusi (Distributed Ledger)	Sistem pencatatan data yang tersebar di banyak node atau komputer, sehingga tidak bergantung pada satu pusat kendali.
Konsorsium Blockchain (Permissioned Blockchain)	Jenis blockchain yang aksesnya dibatasi untuk pihak tertentu (organisasi, lembaga, atau konsorsium industri) dengan sistem otorisasi dan validasi bersama.
IoT (Internet of Things)	Jaringan perangkat sensor dan mesin yang saling terhubung untuk mengumpulkan, mengirim, dan bertukar data secara otomatis.
Oracle	Komponen penghubung antara dunia nyata (data eksternal) dan blockchain, misalnya mengirim data dari sensor, sistem ERP, atau API ke jaringan blockchain.
Immutability (Imutabilitas)	Sifat permanen dari data di blockchain; setelah dicatat, data tidak dapat diubah tanpa persetujuan jaringan, menjamin integritas historis.
Traceability (Ketertelusuran)	Kemampuan untuk menelusuri asal-usul, lokasi, dan status produk di seluruh rantai pasok secara real time.
Transparency (Transparansi)	Keterbukaan informasi antar pihak dalam sistem rantai pasok tanpa harus mengorbankan kerahasiaan data strategis.
Integrity (Integritas Data)	Konsistensi dan keutuhan data di seluruh titik rantai pasok, menjamin tidak ada perubahan atau manipulasi tanpa jejak digital.

Rudy C Tarumíngkeng: Blockchain untuk Transparansi dan
Integritas Rantai Pasok Global

Istilah	Penjelasan Akademik
ZKP (Zero-Knowledge Proofs)	Teknik kriptografi yang memungkinkan seseorang membuktikan bahwa suatu pernyataan benar tanpa mengungkapkan data detail di balik pernyataan tersebut.
Tokenisasi	Proses representasi digital dari aset fisik (barang, dokumen, atau sertifikat) ke dalam bentuk token di blockchain untuk memudahkan transfer dan audit.
Interoperabilitas	Kemampuan berbagai sistem atau blockchain berbeda untuk saling bertukar dan memverifikasi data dengan standar protokol yang kompatibel.
CarbonChain	Aplikasi blockchain untuk memverifikasi dan melacak jejak karbon dari proses produksi hingga distribusi untuk mendukung ekonomi hijau.
CBDC (Central Bank Digital Currency)	Mata uang digital resmi yang diterbitkan oleh bank sentral (seperti BI Digital Rupiah) yang dapat diintegrasikan ke sistem blockchain untuk transaksi lintas negara.
Supply Chain 5.0	Konsep rantai pasok masa depan yang mengintegrasikan AI, IoT, blockchain, dan sustainability untuk membangun sistem logistik yang cerdas, efisien, dan manusiawi.
Satu Data Indonesia (SDI)	Inisiatif nasional pemerintah Indonesia untuk mewujudkan interoperabilitas data antar lembaga negara berbasis standar dan metadata tunggal.

Istilah	Penjelasan Akademik
EUDR (EU Deforestation Regulation)	Regulasi Uni Eropa yang mengharuskan produk seperti sawit, kopi, kakao, kayu, dan karet memiliki data asal-usul yang bebas deforestasi sebelum masuk ke pasar Eropa.

DAFTAR PUSTAKA

◆ **Sumber Akademik dan Ilmiah Internasional**

1. Wang, Y., Han, J., & Beynon-Davies, P. (2019). *Understanding blockchain technology for future supply chains: A systematic literature review and research agenda*. **Supply Chain Management: An International Journal**, 24(1), 62–84.
2. Kouhizadeh, M., Saberi, S., & Sarkis, J. (2021). *Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers*. **International Journal of Production Economics**, 231, 107831.
3. Francisco, K., & Swanson, D. (2018). *The supply chain has no clothes: Technology adoption of blockchain for supply chain transparency*. **Logistics**, 2(1), 2.
4. Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). *A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification, and open issues*. **Telematics and Informatics**, 36, 55–81.
5. Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). *Blockchain technology and its relationships to sustainable supply*

chain management. International Journal of Production Research, 57(7), 2117–2135.

6. Wang, S., Ouyang, L., Yuan, Y., Ni, X., Han, X., & Wang, F. Y. (2020). *Blockchain-Enabled Smart Contracts: Architecture, Applications, and Future Trends. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 50(1), 16–27.
7. Deloitte Insights (2023). *Blockchain in Supply Chain: Transforming Traceability and Transparency*. Deloitte Global Report.
8. IBM Food Trust (2022). *How Blockchain Improves Food Safety and Traceability*. IBM Research White Paper.

◆ **Sumber Indonesia dan Regional**

1. Kementerian Kominfo RI (2024). *Blueprint Ekonomi Digital Indonesia 2045*. Jakarta: Kominfo.
2. Bank Indonesia (2023). *Project Garuda: Central Bank Digital Currency Framework for Indonesia*. Jakarta: BI.
3. Bappenas (2022). *Peta Jalan Transformasi Digital Nasional 2021–2024*.
4. WWF Indonesia & OpenSC (2021). *Traceability Tuna Berbasis Blockchain di Indonesia Timur*.
5. Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2023). *Panduan Interoperabilitas Data dan Blockchain untuk Sistem Logistik Nasional (Sislognas)*.
6. HARA Indonesia (2019). *Blockchain for Agriculture: Case Study on Kintamani Coffee Farmers*.
7. Telkom Indonesia (2024). *Whitepaper Blockchain Integration for Logistics & E-Government Interoperability*.
8. OJK (2023). *Fintech & Blockchain Regulatory Sandbox Framework*.

◆ **Sumber Tambahan dan Rekomendasi Lanjutan**

- World Economic Forum (WEF). (2022). *Blockchain Beyond the Hype: A Practical Framework for Business Leaders*.
 - OECD (2023). *Digital Transformation in Global Supply Chains*.
 - ASEAN Secretariat (2024). *ASEAN Digital Economy Framework Agreement: Blockchain and Data Interoperability Pillar*.
 - United Nations ESCAP (2022). *Blockchain for Sustainable Supply Chains in Asia-Pacific*.
 - Tarumingkeng, R. C. (2025). *Blockchain untuk Transparansi dan Integritas Rantai Pasok Global: Teknologi yang Membangun Kepercayaan dan Efisiensi*. Bogor: RudyCT Research Paper Series (Draft).
-

Blockchain untuk Transparansi dan Integritas Rantai Pasok Global

Teknologi yang membangun kepercayaan dan efisiensi

