



Sistem *Blockchain FishChain* untuk Transparansi Distribusi Hasil Laut Kepulauan Riau

Mariska Putri Pratiwi¹, Rahmat Fauzi², Nelly Chandrawati Manalu³, Wilda Wirdatul Fajri⁴, Poppy Okta Fiana Putri⁵

^{1,2}Fakultas Ilmu Komputer, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Putera Batam, Batam, Indonesia

^{3,4,5}Fakultas Sosial dan Humaniora, Program Studi Manajemen, Universitas Putera Batam, Batam, Indonesia

*¹mrskaptrw@gmail.com, ²rahmat@puterabatam.ac.id, ³nelly.manalu@puterabatam.ac.id, ⁴wiwi120594@gmail.com,

⁵poppy.putri@puterabatam.ac.id

Abstract

The distribution of marine fishery products in the Riau Islands Province faces challenges related to manual recording, limited product-origin traceability, and low information transparency among supply chain actors. These conditions may create price information asymmetry, difficulty in verifying fish origin, and weak distribution supervision from fishermen to consumers. This study aims to design and evaluate FishChain, a blockchain-based traceability prototype for improving the transparent distribution of marine fishery products in the Riau Islands. The research applies the Design Science Research Methodology through problem identification, requirement analysis, architecture design, smart contract implementation, prototype testing, and evaluation. The proposed system involves fishermen, fish auction places, distributors, government, and consumers. Catch data, transactions, location, weight, price, and document hashes are recorded through smart contracts in a permissioned blockchain network. Prototype evaluation using 30 synthetic transaction records on a four-validator local network showed that all main functions worked according to the black-box scenarios, with an average transaction validation time of 1.83 seconds. A limited UAT involving 20 role-assigned test respondents produced an acceptance score of 86.40%. FishChain has the potential to improve transparency, data integrity, and product-origin verification; however, real-world implementation requires IoT integration, institutional readiness, comprehensive nonfunctional testing, and field validation.

Keywords: Blockchain, FishChain, Marine Fisheries, Supply Chain, Transparency

Abstrak

Distribusi hasil laut di Provinsi Kepulauan Riau menghadapi tantangan berupa pencatatan manual, keterbatasan ketertelusuran asal produk, dan rendahnya transparansi informasi antaraktor rantai pasok. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan asimetri informasi harga, sulitnya verifikasi asal ikan, serta lemahnya pengawasan distribusi dari nelayan hingga konsumen. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji prototipe FishChain, yaitu sistem ketertelusuran hasil perikanan laut berbasis blockchain untuk mendukung transparansi distribusi hasil laut di Kepulauan Riau. Metode penelitian menggunakan Design Science Research Methodology melalui tahapan identifikasi masalah, analisis kebutuhan, desain arsitektur, implementasi smart contract, pengujian prototipe, dan evaluasi. Sistem dirancang dengan aktor nelayan, tempat pelelangan ikan, distributor, pemerintah, dan konsumen. Data tangkapan, transaksi, lokasi, bobot, harga, serta hash dokumen dicatat melalui smart contract pada jaringan blockchain permissioned. Pengujian prototipe menggunakan 30 data sintesis pada jaringan lokal dengan empat validator menunjukkan seluruh fungsi utama berjalan sesuai skenario blackbox dan waktu validasi transaksi rata-rata 1,83 detik. UAT terbatas terhadap 20 responden uji yang menjalankan skenario peran menghasilkan skor penerimaan 86,40%. FishChain berpotensi meningkatkan transparansi, integritas data, dan verifikasi asal produk, meskipun implementasi riil masih memerlukan integrasi IoT, kesiapan kelembagaan, pengujian nonfungsional komprehensif, dan validasi lapangan.

Kata kunci: blockchain, FishChain, perikanan laut, rantai pasok, transparansi



1. Pendahuluan

Provinsi Kepulauan Riau merupakan wilayah kepulauan yang memiliki karakter ekonomi kelautan kuat karena berada pada jalur perairan strategis dan memiliki sebaran pulau yang luas. Aktivitas perikanan tangkap menjadi salah satu sumber penghidupan masyarakat pesisir sekaligus mendukung rantai pasok pangan laut untuk pasar lokal, antardaerah, dan ekspor. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa volume produksi perikanan tangkap Provinsi Kepulauan Riau pada tahun 2024 mencapai 339.329.306 kg dengan nilai produksi sekitar Rp10,203 triliun. Data tersebut menunjukkan bahwa komoditas hasil laut memiliki peran penting terhadap perekonomian wilayah [1]. Pada tingkat kabupaten/kota, BPS Provinsi Kepulauan Riau juga mencatat adanya perbedaan volume dan nilai produksi perikanan tangkap berdasarkan wilayah dan jenis penangkapan. Perbedaan tersebut mengindikasikan beragamnya kapasitas produksi, pelaku usaha, dan jalur distribusi hasil laut antarpulau [2].

Meskipun memiliki potensi ekonomi yang tinggi, rantai distribusi hasil laut di Provinsi Kepulauan Riau masih menghadapi permasalahan transparansi dan ketertelusuran. Informasi mengenai asal tangkapan, waktu pendaratan, jenis dan bobot ikan, harga awal, perpindahan kepemilikan, kondisi penyimpanan, hingga harga pada tingkat konsumen belum tercatat dalam satu sistem yang terintegrasi. Sebagian pelaku usaha masih menggunakan catatan manual, kuitansi terpisah, dan komunikasi informal. Kondisi tersebut menyebabkan data sulit diverifikasi secara cepat ketika terjadi perbedaan harga, klaim kualitas, penolakan produk, atau kebutuhan pelacakan asal ikan. Transparansi distribusi menjadi semakin penting karena Kementerian Kelautan dan Perikanan menempatkan penangkapan ikan terukur, peningkatan daya saing, dan keberlanjutan sumber daya sebagai bagian dari agenda prioritas pembangunan ekonomi biru [3].

Permasalahan transparansi rantai pasok perikanan juga ditemukan pada tingkat global. Rantai pasok ikan memiliki karakter kompleks karena melibatkan banyak aktor dan lokasi, sedangkan produk yang didistribusikan mudah mengalami penurunan kualitas. Selain itu, sektor ini menghadapi risiko manipulasi data serta praktik ilegal, unreported, and unregulated fishing. Patro et al. mengembangkan solusi berbasis private Ethereum blockchain untuk mengelola operasi rantai pasok perikanan secara terdesentralisasi, transparan, aman, dan dapat dilacak [4]. Kelebihan penelitian tersebut terletak pada pemanfaatan karakter data blockchain yang sulit diubah untuk meningkatkan kepercayaan antaraktor. Namun, sistem yang

dikembangkan lebih menekankan pencatatan transaksi pada jaringan blockchain dan belum diarahkan secara khusus pada mekanisme pengawasan pemerintah daerah, verifikasi konsumen melalui QR Code, dan pemodelan alur distribusi antarpulau.

Ismail et al. mengintegrasikan blockchain dan Internet of Things untuk membangun sistem rantai pasok ikan yang mempertimbangkan ketertelusuran dan kualitas produk [5]. Integrasi tersebut memiliki kelebihan karena data kondisi produk dapat dikumpulkan secara lebih otomatis dan dicatat secara andal. Meskipun demikian, penggunaan perangkat IoT secara menyeluruh memerlukan biaya perangkat, konektivitas, pemeliharaan sensor, dan kesiapan teknologi yang relatif tinggi. Kebutuhan tersebut berpotensi menjadi kendala ketika diterapkan kepada nelayan kecil dan pelaku distribusi tradisional di wilayah kepulauan. Penelitian tersebut juga belum secara khusus membahas dashboard agregasi data yang dapat digunakan pemerintah untuk memantau asal, volume, jalur perpindahan, dan status distribusi hasil laut.

Kajian sistematis mengenai penerapan blockchain pada rantai pasok ikan menunjukkan bahwa transparansi, ketertelusuran, kepercayaan, dan pertukaran informasi merupakan tema penelitian yang dominan [6]. Kajian tersebut memberikan pemetaan yang luas mengenai manfaat dan arah perkembangan blockchain pada sektor perikanan. Namun, sebagian besar penelitian yang dianalisis masih berada pada tingkat konseptual, kerangka arsitektur, atau studi kasus terbatas. Kajian tersebut belum menghasilkan model implementasi yang secara bersamaan menghubungkan pencatatan transaksi berbasis smart contract, verifikasi publik melalui QR Code, pengaturan hak akses berdasarkan peran, dan dashboard monitoring untuk kebutuhan pemerintah daerah.

Cromwell et al. mengidentifikasi blockchain, IoT, dan RFID sebagai teknologi utama yang dapat memperkuat ketertelusuran rantai pasok ikan, mencegah kecurangan, meningkatkan kepercayaan konsumen, dan mendukung kepatuhan terhadap regulasi [7]. Kelebihan penelitian tersebut terletak pada identifikasi teknologi yang dapat digunakan untuk merekam identitas dan perpindahan produk. Akan tetapi, penerapan RFID dan IoT pada setiap tahapan distribusi dapat menambah biaya infrastruktur serta membutuhkan interoperabilitas antarsistem. Penelitian tersebut juga belum memberikan rancangan smart contract yang secara khusus mengatur perubahan status produk, perpindahan kepemilikan, validasi aktor, dan riwayat distribusi hasil laut pada lingkungan blockchain permissioned.

Dalam konteks rantai pasok pangan secara umum, Ellahi et al. menemukan bahwa berbagai kerangka blockchain untuk ketertelusuran belum sepenuhnya mengintegrasikan teknologi Industry 4.0 dan Web 3.0 secara interoperabel [8]. Kelebihan kajian tersebut adalah kemampuannya mengidentifikasi persoalan integrasi data, skalabilitas, dan interoperabilitas. Namun, cakupannya masih bersifat umum dan belum mempertimbangkan karakter khusus komoditas hasil laut yang mudah rusak, memiliki banyak titik perpindahan, dan didistribusikan melalui jalur antarpulau. Penelitian lanjutan juga menunjukkan adanya peluang untuk mengembangkan sistem blockchain yang lebih aplikatif pada rantai pasok pangan [9]. Meskipun demikian, pengembangan tersebut memerlukan penyesuaian struktur data, mekanisme validasi, hak akses pengguna, serta antarmuka yang mudah digunakan oleh pelaku lokal. Berdasarkan analisis penelitian terdahulu, kesenjangan penelitian tidak hanya terdapat pada konteks wilayah, tetapi juga pada aspek teknologi. Penelitian sebelumnya telah membuktikan potensi blockchain, IoT, RFID, dan teknologi ketertelusuran, tetapi penerapannya masih cenderung terpisah atau belum mengintegrasikan seluruh kebutuhan pemangku kepentingan. Berdasarkan literatur yang ditelaah, belum ditemukan model yang secara utuh mengintegrasikan: (1) smart contract untuk mencatat identitas hasil tangkapan, perpindahan kepemilikan, harga, lokasi, waktu, dan status distribusi; (2) pengaturan hak akses berdasarkan peran nelayan, tempat pelelangan ikan, pengepul, pengelola cold storage, distributor, retail, dan pemerintah; (3) QR Code yang terhubung dengan identitas unik setiap batch hasil laut untuk verifikasi konsumen; (4) dashboard monitoring pemerintah daerah untuk mengawasi volume, asal, jalur, dan riwayat distribusi; serta (5) jaringan blockchain permissioned yang disesuaikan dengan kemampuan teknologi pelaku perikanan lokal.

Kesenjangan teknologi lainnya terdapat pada mekanisme pencatatan perubahan status produk dan perpindahan tanggung jawab antaraktor. Sistem yang hanya menyimpan data hasil tangkapan belum mampu memberikan gambaran lengkap mengenai perjalanan produk dari nelayan sampai konsumen. Oleh karena itu, diperlukan smart contract yang mampu mengatur siklus distribusi, mulai dari registrasi hasil tangkapan, validasi pendaratan, pencatatan penjualan, perpindahan kepemilikan, penyimpanan, pengiriman antarpulau, hingga penerimaan produk oleh retail. Setiap transaksi perlu memiliki timestamp, identitas aktor, lokasi, jumlah, harga, dan status produk agar riwayat distribusi dapat diaudit. Data tersebut selanjutnya perlu disajikan melalui QR Code untuk konsumen dan dashboard monitoring bagi pemerintah tanpa membuka seluruh informasi bisnis yang bersifat sensitif.

Blockchain dipandang relevan untuk menjawab kebutuhan tersebut karena memiliki karakter ledger terdistribusi, transparan, dan sulit diubah tanpa persetujuan jaringan. Pada platform Ethereum, smart contract dapat menyimpan aturan bisnis dan mengeksekusi fungsi transaksi secara otomatis ketika dipanggil oleh pengguna [16]. Solidity sebagai bahasa pemrograman smart contract dirancang untuk mengembangkan kontrak yang berjalan pada Ethereum Virtual Machine [17]. Meskipun jaringan publik menawarkan tingkat desentralisasi yang tinggi, biaya transaksi, keterbukaan data, dan identitas validator dapat menjadi kendala untuk implementasi kelembagaan. Oleh karena itu, blockchain permissioned dengan konsensus Proof of Authority dinilai lebih sesuai karena validator dapat dibatasi pada instansi pemerintah, pengelola pelabuhan perikanan, koperasi, atau mitra terpercaya, sebagaimana dijelaskan dalam dokumentasi Hyperledger Besu [18].

Berdasarkan latar belakang dan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan FishChain, yaitu prototipe sistem ketertelusuran berbasis blockchain untuk meningkatkan transparansi distribusi hasil laut di Provinsi Kepulauan Riau. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi empat komponen utama, yaitu: (1) smart contract berbasis siklus distribusi untuk merekam hasil tangkapan, perpindahan kepemilikan, dan transaksi antaraktor; (2) blockchain permissioned dengan pengaturan akses berdasarkan peran; (3) QR Code berbasis identitas batch untuk menampilkan informasi ketertelusuran yang dapat diverifikasi konsumen; dan (4) dashboard monitoring yang menyediakan informasi agregat bagi pemerintah daerah mengenai asal, volume, status, dan jalur distribusi hasil laut. Integrasi tersebut dirancang secara khusus untuk menyesuaikan karakter rantai pasok antarpulau serta tingkat kesiapan teknologi pelaku perikanan di Provinsi Kepulauan Riau.

Tujuan penelitian ini adalah merancang arsitektur FishChain, mengimplementasikan smart contract prototipe, membangun integrasi QR Code dan dashboard monitoring pemerintah, serta menguji fungsi sistem menggunakan blackbox testing. Penelitian ini juga mengevaluasi waktu pemrosesan, keberhasilan transaksi, dan penggunaan sumber daya pada jaringan blockchain lokal serta mengukur penerimaan pengguna secara terbatas melalui User Acceptance Test. Hasil penelitian diharapkan menghasilkan model teknologi ketertelusuran yang tidak hanya meningkatkan transparansi dan kepercayaan antaraktor, tetapi juga dapat menjadi dasar pengembangan sistem monitoring distribusi hasil laut dan perumusan kebijakan ekonomi biru di Provinsi Kepulauan Riau.

1.1 Penelitian Terdahulu dan Gap Analysis

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa blockchain telah banyak diterapkan untuk meningkatkan ketertelusuran pangan dan perikanan, tetapi penerapan yang berfokus pada distribusi hasil laut daerah

kepulauan di Indonesia masih memerlukan model yang lebih kontekstual. Ringkasan penelitian terdahulu ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu dan Gap Analysis

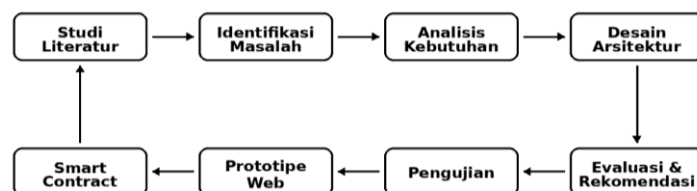
No	Peneliti	Fokus/Metode	Hasil Utama	Gap terhadap Penelitian Ini
1	Patro et al. (2022) [4]	Private Ethereum blockchain untuk fishery supply chain	Menyediakan traceability, accountability, transparency, security, privacy, dan trust.	Belum menyesuaikan karakter distribusi hasil laut Kepulauan Riau dan dashboard pemerintah daerah.
2	Ismail et al. (2023) [5]	Review blockchain dan IoT-enabled fish supply chain	Menjelaskan desain traceability dan quality model untuk sistem rantai pasok ikan.	Bersifat konseptual; belum menguji prototipe lokal berbasis aktor nelayan, TPI, distributor, dan konsumen.
3	Mawrides et al. (2025) [6]	Systematic review blockchain pada sustainable fish supply chain	Menemukan tema dominan transparansi, traceability, trust, dan information sharing.	Belum menyediakan rancangan teknis spesifik untuk kasus distribusi hasil laut di provinsi kepulauan.
4	Cromwell et al. (2025) [7]	Review teknologi digital traceability rantai pasok ikan	Menekankan blockchain, IoT, dan RFID untuk pencegahan fraud dan kepatuhan.	Belum membahas implementasi smart contract dan QR Code pada konteks lokal Indonesia.
5	Wang et al. (2022) [10]	Framework blockchain dan RFID untuk food supply chain	Mengusulkan decentralized data storage dan RFID pada kemasan produk.	Fokus pada food packaging; penelitian ini menyesuaikan data tangkapan ikan dan distribusi antarpelaku.
6	Ellahi et al. (2023) [8]	Systematic review food traceability blockchain	Mengidentifikasi framework blockchain dan peluang integrasi teknologi Web 3.0.	Belum menargetkan sistem perikanan laut wilayah kepulauan.
7	Ellahi et al. (2024) [9]	Systematic review blockchain-driven food supply chain	Menjelaskan peluang smart contract, quality, safety, dan traceability.	Masih umum pada food supply chain; perlu model perikanan daerah.
8	Astuti et al. (2023) [11]	SLR penggunaan blockchain pada food supply chain	Menunjukkan blockchain banyak digunakan untuk traceability melalui public/private platform.	Belum merancang prototipe untuk transparansi harga dan asal hasil laut lokal.
9	Patel et al. (2023) [12]	Review food safety dan traceability berbasis blockchain	Menjelaskan manfaat blockchain untuk transparansi dan tantangan implementasi.	Fokus pada produk peternakan; karakter komoditas ikan segar berbeda.
10	Pratama et al. (2025) [19]	Faktor implementasi sistem ketertelusuran produk perikanan	Menyoroti kerusakan produk dan lemahnya dokumentasi rantai pasok.	Belum mengembangkan arsitektur smart contract untuk pencatatan transaksi yang tidak mudah diubah.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Design Science Research Methodology (DSRM) karena tujuan penelitian adalah menghasilkan artefak teknologi berupa model, arsitektur, smart contract, dan prototipe sistem. Pendekatan DSRM sesuai untuk penelitian sistem

informasi yang membangun dan mengevaluasi artefak guna menyelesaikan masalah nyata pada organisasi atau lingkungan tertentu [13], [14]. Dalam penelitian ini, artefak yang dikembangkan adalah FishChain, yaitu sistem ketertelusuran distribusi hasil laut berbasis blockchain permissioned. Tahapan penelitian disusun mulai dari studi literatur hingga evaluasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Tahap pertama adalah studi literatur terhadap blockchain, smart contract, ketertelusuran produk perikanan, rantai pasok pangan, serta kebijakan ekonomi biru. Tahap kedua adalah identifikasi masalah distribusi hasil laut di Kepulauan Riau berdasarkan studi dokumen, observasi konseptual rantai pasok, dan perbandingan penelitian terdahulu. Tahap ketiga adalah analisis kebutuhan sistem yang meliputi kebutuhan fungsional, kebutuhan data, dan peran

aktor. Tahap keempat adalah perancangan arsitektur sistem dan model smart contract. Tahap kelima adalah implementasi prototipe berbasis web dan smart contract Solidity pada jaringan blockchain lokal. Tahap keenam adalah pengujian fungsional, pengujian transaksi, evaluasi beban awal, pemeriksaan keamanan fungsional, serta evaluasi penerimaan pengguna. Tahap terakhir adalah penyusunan pembahasan,

keterbatasan, dan rekomendasi pengujian lanjutan sebelum implementasi lapangan.

2.2 Analisis Kebutuhan Sistem

Aktor utama pada sistem terdiri dari nelayan, tempat pelelangan ikan atau petugas pendaratan, distributor, pemerintah daerah, dan konsumen. Setiap aktor

memiliki hak akses berbeda untuk menjaga integritas data. Nelayan mencatat data tangkapan awal, TPI melakukan validasi pendaratan, distributor mencatat perpindahan produk, pemerintah memonitor alur distribusi, sedangkan konsumen melakukan verifikasi asal produk melalui QR Code. Kebutuhan fungsional sistem diringkas pada Tabel 2.

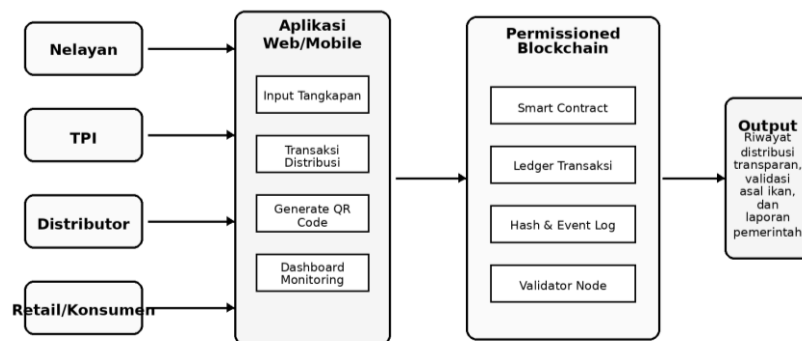
Tabel 2. Kebutuhan Fungsional Sistem FishChain

Aktor	Kebutuhan Fungsional	Output Data
Nelayan	Login, input hasil tangkapan, input jenis ikan, bobot, lokasi, harga awal, dan unggah dokumen pendukung.	Data batch tangkapan dan hash dokumen.
TPI/Petugas Pendaratan	Validasi data tangkapan, menentukan status layak distribusi, dan mencatat waktu pendaratan.	Status validasi, timestamp, dan identitas validator.
Distributor	Mencatat pembelian, perpindahan lokasi, bobot diterima, harga transaksi, dan tujuan distribusi.	Log transaksi distribusi dan perubahan kepemilikan batch.
Pemerintah	Melihat dashboard produksi, riwayat distribusi, peta asal produk, dan laporan transaksi.	Laporan monitoring dan ringkasan transparansi.
Konsumen	Memindai QR Code untuk melihat asal ikan, tanggal tangkap, riwayat distribusi, dan status validasi.	Informasi traceability publik.

2.3 Arsitektur Sistem Blockchain

FishChain dirancang sebagai sistem permissioned blockchain karena aktor yang terlibat dapat dikenali, misalnya koperasi nelayan, TPI, distributor, cold storage, dan pemerintah daerah. Model ini dinilai lebih realistis untuk implementasi awal dibandingkan public blockchain karena validasi transaksi dapat dilakukan oleh node otoritatif yang telah disepakati. Lapisan

sistem terdiri atas aplikasi web/mobile, smart contract, ledger blockchain, database off-chain, QR Code, dan dashboard monitoring. Data utama yang memerlukan integritas tinggi disimpan pada blockchain dalam bentuk metadata dan hash, sedangkan file berukuran besar seperti foto dokumen, sertifikat, atau bukti timbang disimpan di database off-chain. Rancangan arsitektur ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Arsitektur Sistem FishChain

2.4 Model Data dan Smart Contract

Model data blockchain disusun berdasarkan konsep batch hasil tangkapan. Setiap batch adalah satu kelompok produk yang dicatat oleh nelayan pada

waktu dan lokasi tertentu. Batch tersebut dapat berpindah melalui beberapa transaksi distribusi. Setiap perubahan status menghasilkan event log yang disimpan pada ledger. Struktur data utama ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Struktur Data Utama pada Smart Contract

Entitas	Atribut	Keterangan
FishBatch	batchId, fisherId, fishType, weightKg, catchLocation, catchDate, initialPrice, documentHash, status	Data utama hasil tangkapan awal.
DistributionLog	logId, batchId, fromActor, toActor, weightKg, price, location, timestamp	Riwayat perpindahan dan transaksi distribusi.
Actor	actorAddress, role, name, licenseNumber, status	Identitas pengguna dan peran dalam sistem.
Validation	batchId, validatorAddress, decision, note, timestamp	Catatan validasi oleh TPI atau pemerintah.
QRCode	batchId, publicTraceUrl, generatedAt	Media verifikasi bagi konsumen.

Cuplikan rancangan fungsi smart contract FishChain ditunjukkan pada Kode. Fungsi addCatch digunakan untuk membuat batch tangkapan baru, sedangkan transferBatch digunakan untuk mencatat perpindahan

batch dari satu aktor ke aktor lain. Pada implementasi riil, fungsi perlu dilengkapi modifier role-based access control agar hanya aktor dengan peran tertentu yang dapat menjalankan transaksi.

Kode Cuplikan Rancangan Smart Contract FishChain

```
pragma solidity ^0.8.20;

contract FishChain {
    enum Role { None, Fisher, Auction, Distributor, Government }
    enum Status { Created, Validated, Distributed, Sold }

    struct FishBatch {
        uint256 batchId;
        address fisher;
        string fishType;
        uint256 weightKg;
        string catchLocation;
        string catchDate;
        uint256 initialPrice;
        string documentHash;
        Status status;
    }

    struct DistributionLog {
        uint256 logId;
        uint256 batchId;
        address fromActor;
        address toActor;
        uint256 weightKg;
        uint256 price;
        string location;
        uint256 timestamp;
    }

    mapping(uint256 => FishBatch) public batches;
    mapping(uint256 => DistributionLog[]) public histories;
    mapping(address => Role) public roles;

    event CatchAdded(uint256 indexed batchId, address indexed fisher, string fishType);
    event BatchTransferred(uint256 indexed batchId, address indexed fromActor, address indexed toActor);

    function addCatch(uint256 batchId, string memory fishType, uint256 weightKg,
        string memory catchLocation, string memory catchDate, uint256 initialPrice,
        string memory documentHash) public {
        require(roles[msg.sender] == Role.Fisher, "Only fisher");
        batches[batchId] = FishBatch(batchId, msg.sender, fishType, weightKg,
            catchLocation, catchDate, initialPrice, documentHash, Status.Created);
        emit CatchAdded(batchId, msg.sender, fishType);
    }

    function transferBatch(uint256 batchId, address toActor, uint256 weightKg,
        uint256 price, string memory location) public {
        require(batches[batchId].batchId != 0, "Batch not found");
        histories[batchId].push(DistributionLog(histories[batchId].length + 1,
            batchId, msg.sender, toActor, weightKg, price, location, block.timestamp));
        batches[batchId].status = Status.Distributed;
        emit BatchTransferred(batchId, msg.sender, toActor);
    }
}
```

2.5 Perangkat Implementasi dan Lingkungan Pengujian

Implementasi prototipe dilakukan menggunakan Visual Studio Code sebagai integrated development environment. Antarmuka web dibangun dengan React 18 dan Vite 5, sedangkan layanan application programming interface menggunakan Node.js 20 dan Express 4. Komunikasi aplikasi dengan smart contract ditangani oleh ethers.js 6. Smart contract ditulis dengan Solidity 0.8.20 serta dikompilasi dan dideploy menggunakan Hardhat 2.22 pada jaringan permissioned Hyperledger Besu 24.3 berbasis Ethereum Virtual Machine. Data off-chain disimpan pada MySQL 8.0, sedangkan layanan web dan API dijalankan melalui server lokal Node.js. QR Code dibangkitkan dari publicTraceUrl unik untuk setiap

batch. Susunan ini memisahkan data yang membutuhkan integritas tinggi pada blockchain dari file pendukung berukuran besar pada penyimpanan off-chain.

Pengujian dijalankan pada satu komputer lokal dengan CPU empat inti 2,40 GHz, RAM 16 GB, SSD 512 GB, dan sistem operasi Ubuntu 22.04 LTS 64-bit. Empat node validator Hyperledger Besu dijalankan pada container Docker yang terisolasi dengan konsensus QBFT dan periode blok dua detik. Seluruh node, API, dan database berada pada host serta jaringan lokal yang sama. Waktu validasi diukur sejak API mengirim transaksi sampai transaction receipt berstatus berhasil; karena itu, nilai yang dilaporkan tidak mencakup

latensi internet maupun waktu konfirmasi jaringan publik.

2.6 Sumber dan Karakteristik Data Simulasi

Dataset pengujian terdiri atas 30 data batch sintetis dan tidak berasal dari transaksi individu nelayan. Data disusun dari struktur atribut kebutuhan sistem serta konteks komoditas perikanan Kepulauan Riau. Variasinya mencakup lima jenis komoditas (tuna, tongkol, kakap, kerapu, dan cumi-cumi) pada enam wilayah asal (Batam, Bintan, Karimun, Tanjungpinang, Natuna, dan Kepulauan Anambas). Bobot batch berada pada rentang 20-500 kg, harga awal Rp25.000-Rp120.000 per kg, dan jalur distribusi terdiri atas dua sampai empat aktor. Setiap data memiliki batchId unik, lokasi, tanggal, status, identitas aktor, serta hash SHA-256 dari dokumen contoh.

Tiga puluh data dasar tersebut digunakan secara konsisten pada fungsi addCatch, validateBatch, transferBatch, dan getHistory. Untuk menguji validasi, dibuat pula variasi negatif dari data dasar berupa jenis ikan kosong, bobot nol, batchId ganda, penerima tidak terdaftar, dan pemanggilan fungsi oleh peran yang tidak berwenang. Dataset ini bertujuan menguji kelengkapan alur dan ketahanan validasi prototipe, bukan untuk mengestimasi produksi, harga pasar, atau perilaku distribusi aktual di Kepulauan Riau.

2.7 Prosedur User Acceptance Test

UAT dilakukan secara terbatas terhadap 20 responden uji yang dipilih secara purposif dan menjalankan skenario peran, masing-masing lima orang sebagai nelayan, TPI/distributor, pemerintah/pengelola, dan konsumen. Responden memperoleh penjelasan singkat, menjalankan tugas sesuai perannya, lalu

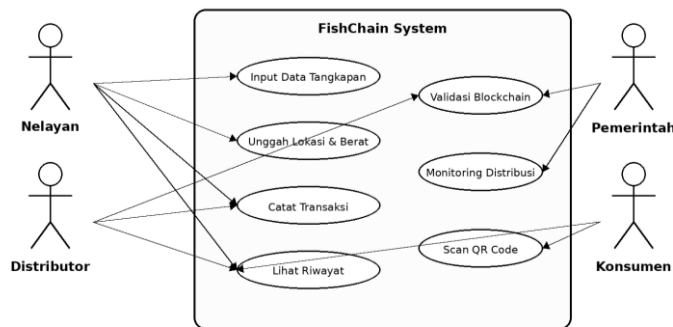
mengisi instrumen. Penggunaan responden berbasis skenario ini dimaksudkan sebagai validasi awal antarmuka dan alur kerja; responden tidak diklaim mewakili populasi pelaku perikanan Kepulauan Riau.

Instrumen UAT berisi lima butir yang mewakili kemudahan penggunaan, kejelasan informasi traceability, kepercayaan terhadap data, manfaat monitoring, dan kesiapan implementasi. Setiap butir dinilai dengan skala Likert 1-5. Validasi isi dilakukan melalui expert judgement oleh dua dosen bidang sistem informasi untuk memeriksa kesesuaian butir dengan kebutuhan fungsional dan kejelasan bahasa. Skor maksimal setiap aspek adalah 20 responden x 5 = 100, sedangkan skor maksimal keseluruhan adalah 500. Persentase dihitung dari skor diperoleh dibagi skor maksimal dikali 100%; interval 85-100% dikategorikan sangat baik, 70-84% baik, 55-69% cukup, dan kurang dari 55% kurang. Karena setiap aspek hanya diwakili satu butir dan jumlah responden terbatas, hasil UAT dianalisis secara deskriptif dan tidak digunakan sebagai pengujian psikometrik.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Perancangan Use Case

Use case sistem menggambarkan interaksi aktor dengan fitur utama FishChain. Nelayan memiliki use case untuk input data tangkapan dan melihat riwayat transaksi. Distributor mencatat pembelian dan perpindahan produk. Pemerintah melakukan monitoring dan validasi. Konsumen melakukan scan QR Code untuk melihat informasi publik terkait asal dan perjalanan produk. Diagram use case ditunjukkan pada Gambar 3.

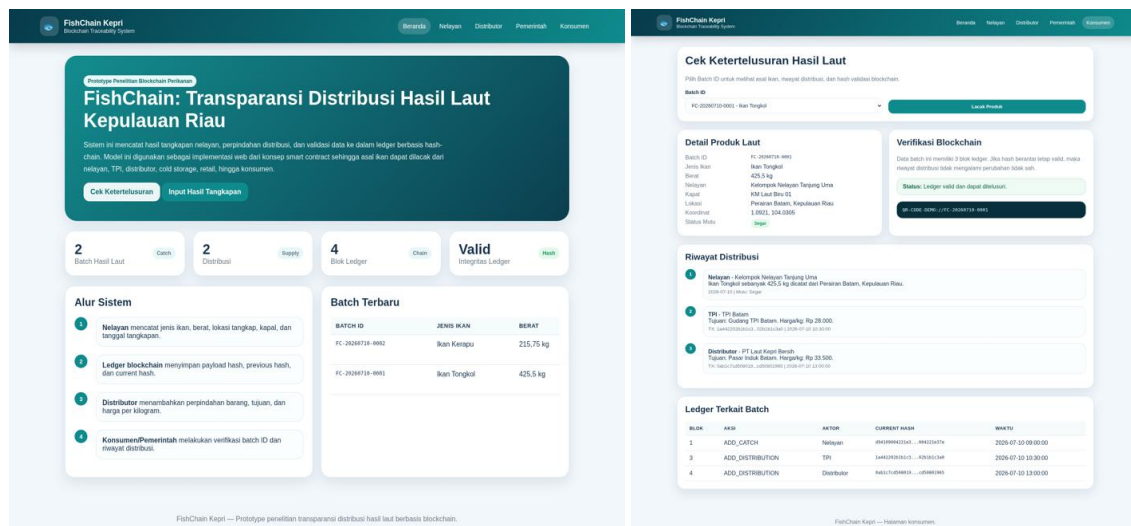


Gambar 3. Use Case Sistem FishChain

3.2 Implementasi Prototipe

Prototipe FishChain dikembangkan sebagai aplikasi web sederhana dengan empat dashboard utama, yaitu dashboard nelayan, dashboard distributor, dashboard pemerintah, dan halaman verifikasi konsumen. Dashboard nelayan digunakan untuk menginput batch tangkapan. Data yang dimasukkan meliputi jenis ikan,

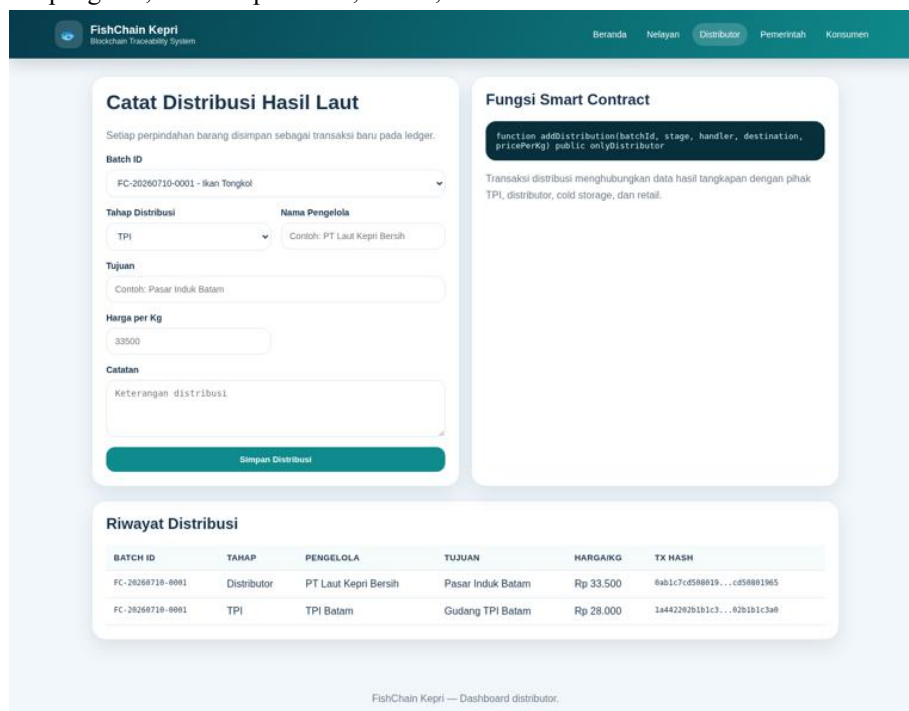
bobot, lokasi tangkap, tanggal tangkap, harga awal, dan dokumen pendukung. Setelah data disimpan, sistem membentuk documentHash dan memanggil fungsi addCatch pada smart contract. Respons transaksi berupa transactionHash disimpan sebagai bukti bahwa data telah masuk ke ledger blockchain, seperti yang terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Dashboard konsumen

Dashboard distributor digunakan untuk mencatat transaksi perpindahan. Ketika distributor membeli atau menerima hasil laut dari TPI/nelayan, sistem memanggil fungsi transferBatch. Setiap transaksi membentuk event BatchTransferred yang mencatat batchId, alamat pengirim, alamat penerima, bobot,

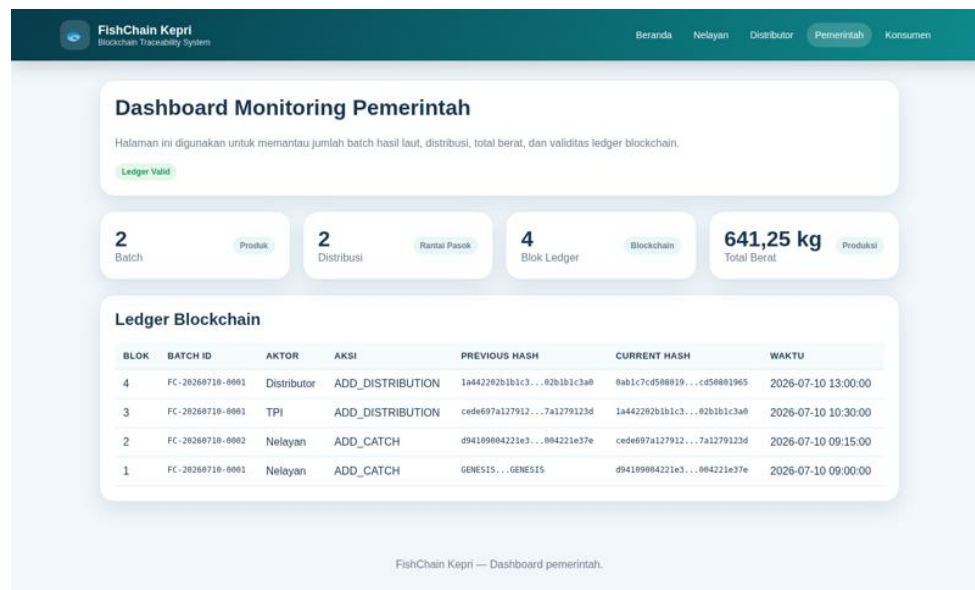
harga, lokasi, dan timestamp. Dengan mekanisme ini, riwayat distribusi tidak bergantung pada satu basis data terpusat, melainkan dapat diverifikasi melalui event log pada blockchain., seperti yang terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Dashboard distributor

Dashboard pemerintah berfungsi sebagai pusat monitoring. Pemerintah dapat melihat jumlah batch tercatat, total bobot, jenis ikan dominan, aktor distribusi, status validasi, serta anomali sederhana seperti penurunan bobot tidak wajar antar titik distribusi. Sistem juga dapat menampilkan riwayat batch secara kronologis sehingga proses audit menjadi lebih mudah. Halaman konsumen menampilkan

informasi yang bersifat publik setelah QR Code dipindai, antara lain jenis ikan, asal tangkap, tanggal tangkap, status validasi, dan ringkasan perjalanan distribusi. Informasi sensitif seperti alamat dompet aktor dapat disamarkan sebagian untuk menjaga privasi pelaku usaha, seperti yang terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Dashboard Pemerintah

Pada prototipe, database off-chain tetap digunakan untuk menyimpan data pendukung yang tidak efisien jika seluruhnya dimasukkan ke blockchain, seperti foto bukti timbang, dokumen izin, dan catatan administratif. Blockchain hanya menyimpan metadata penting, hash dokumen, dan event transaksi. Strategi hybrid ini mengikuti prinsip bahwa blockchain sebaiknya digunakan untuk data yang membutuhkan integritas dan audit trail, sedangkan penyimpanan file besar tetap dikelola oleh basis data aplikasi.

3.3 Alur Ketertelusuran Data

Alur ketertelusuran dimulai saat nelayan memasukkan data tangkapan. Sistem membuat batchId unik, menghasilkan hash dokumen, dan mencatat transaksi pada smart contract. TPI kemudian melakukan validasi pendaratan. Ketika batch berpindah ke distributor atau cold storage, sistem menambahkan log distribusi baru. Setelah produk masuk retail, QR Code ditempel pada produk atau nota transaksi. Konsumen dapat memindai QR Code untuk melihat informasi asal produk dan perjalanan distribusi. Dengan demikian, alur data tidak berhenti pada input awal, tetapi berlanjut mengikuti perpindahan produk hingga titik akhir.

Keunggulan utama alur ini adalah setiap aktor hanya dapat menambahkan data baru, bukan menghapus atau mengubah riwayat lama. Jika terjadi kesalahan input, sistem dapat menambahkan transaksi koreksi dengan catatan alasan dan validator, tetapi catatan awal tetap tersimpan. Mekanisme ini penting untuk membangun akuntabilitas. Pada sistem manual, catatan transaksi dapat hilang, diganti, atau tidak sinkron antar pelaku. Pada FishChain, setiap perpindahan batch memiliki bukti waktu, identitas aktor, dan hash transaksi. Hal ini membantu pemerintah dan pelaku pasar memeriksa asal produk serta mengurangi risiko klaim asal ikan yang tidak sesuai.

3.4 Hasil Pengujian Blackbox

Pengujian blackbox dilakukan untuk memastikan setiap fungsi prototipe berjalan sesuai kebutuhan. Pengujian menggunakan 30 data sintetis yang karakteristik dan variasi kasusnya dijelaskan pada Subbagian 2.6. Skenario positif memeriksa alur utama, sedangkan skenario negatif memeriksa validasi input dan pembatasan akses. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Blackbox

No	Skenario Uji	Hasil yang Diharapkan	Status
1	Login nelayan dengan akun valid	Sistem masuk ke dashboard nelayan	Berhasil
2	Input batch tangkapan lengkap	Data tersimpan dan transaksi addCatch terbentuk	Berhasil
3	Input batch tanpa jenis ikan	Sistem menolak input dan menampilkan pesan validasi	Berhasil
4	Validasi batch oleh TPI	Status berubah menjadi tervalidasi	Berhasil
5	Transfer batch ke distributor	Event BatchTransferred terbentuk	Berhasil
6	Akses dashboard pemerintah	Sistem menampilkan ringkasan batch dan transaksi	Berhasil
7	Scan QR Code konsumen	Sistem menampilkan riwayat asal dan distribusi	Berhasil
8	Akses fungsi admin oleh akun nelayan	Sistem menolak akses berdasarkan role	Berhasil

Berdasarkan Tabel 4, seluruh skenario pengujian fungsional berhasil dijalankan. Fungsi validasi input mencegah data tidak lengkap masuk ke sistem. Fungsi role-based access control membatasi hak akses sesuai peran aktor. Pengujian ini menunjukkan bahwa prototipe telah memenuhi kebutuhan dasar pencatatan

hasil tangkapan, distribusi, monitoring, dan verifikasi konsumen.

3.5 Pengujian Transaksi Blockchain

Pengujian transaksi blockchain dilakukan pada jaringan lokal empat validator sebagaimana dijelaskan pada Subbagian 2.5 untuk mengetahui waktu validasi

dan estimasi penggunaan gas. Setiap fungsi dijalankan 30 kali menggunakan dataset yang sama, sehingga terdapat 90 transaksi tulis dan 30 pemanggilan fungsi

baca. Pengujian ini bersifat simulasi prototipe, bukan uji produksi pada jaringan publik. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Transaksi Blockchain Lokal

Fungsi Smart Contract	Jumlah Transaksi	Rata-rata Waktu Validasi	Rata-rata Gas Used	Keterangan
addCatch	30	1,72 detik	158.420	Mencatat batch tangkapan awal
validateBatch	30	1,64 detik	86.315	Validasi TPI/pemerintah
transferBatch	30	1,96 detik	121.870	Mencatat perpindahan batch
getHistory	30	0,41 detik	0	Fungsi baca riwayat tanpa biaya gas
Rata-rata	120	1,83 detik	122.202	Rata-rata fungsi transaksi tulis

Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu validasi transaksi tulis pada jaringan lokal berada pada rata-rata 1,83 detik. Fungsi addCatch memiliki gas used tertinggi karena menyimpan struktur data batch yang cukup lengkap. Fungsi getHistory tidak memerlukan gas karena hanya membaca data dari smart contract tanpa mengubah state blockchain. Hasil ini mengindikasikan bahwa prototipe dapat berjalan secara responsif pada lingkungan lokal. Akan tetapi, jika sistem diterapkan pada jaringan publik atau konsorsium dengan banyak validator, waktu finalisasi dapat berubah tergantung konfigurasi jaringan, jumlah node, mekanisme konsensus, dan beban transaksi.

Tabel 6. Hasil User Acceptance Test

Aspek Penilaian	Skor Maksimal	Skor Diperoleh	Persentase	Kategori
Kemudahan penggunaan	100	86	86%	Sangat Baik
Kejelasan informasi traceability	100	89	89%	Sangat Baik
Kepercayaan terhadap data	100	88	88%	Sangat Baik
Manfaat monitoring pemerintah	100	87	87%	Sangat Baik
Kesiapan implementasi lapangan	100	82	82%	Baik
Rata-rata	500	432	86,40%	Sangat Baik

3.7 Evaluasi Nonfungsional Awal dan Batasannya

Evaluasi beban awal memanfaatkan 120 pemanggilan fungsi pada Tabel 5, yaitu 90 transaksi tulis dan 30 fungsi baca yang dijalankan berurutan pada konfigurasi lokal tetap. Seluruh pemanggilan menghasilkan respons sesuai fungsi dan tidak ditemukan transaksi gagal pada beban tersebut. Namun, pengujian ini belum merupakan load testing konkuren karena belum menggunakan virtual user, laju transaksi per detik, dan durasi beban berkelanjutan. Dengan demikian, waktu rata-rata 1,83 detik hanya menggambarkan respons prototipe pada beban sekuensial.

Pemeriksaan keamanan pada penelitian ini dibatasi pada kontrol fungsional, meliputi penolakan input tidak lengkap, penolakan batchId ganda, validasi aktor terdaftar, dan role-based access control. Skenario akun nelayan yang mencoba mengakses fungsi administratif ditolak sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Pemeriksaan tersebut menunjukkan bahwa pembatasan dasar bekerja, tetapi belum menggantikan static analysis smart contract, penetration testing aplikasi web dan API, audit pengelolaan private key, maupun pengujian kerentanan pada node blockchain.

Evaluasi skalabilitas juga masih terbatas karena seluruh pengukuran menggunakan konfigurasi tetap

3.6 User Acceptance Test

Evaluasi penerimaan pengguna mengikuti prosedur pada Subbagian 2.7. Sebanyak 20 responden uji menyelesaikan skenario tugas untuk empat kelompok peran dan menilai lima aspek menggunakan skala Likert 1-5. Hasil UAT ditunjukkan pada Tabel 6. Skor total 432 dari maksimum 500 menghasilkan persentase 86,40% dan termasuk kategori sangat baik. Nilai terendah terdapat pada kesiapan implementasi lapangan sebesar 82%, yang menunjukkan perlunya dukungan pelatihan, infrastruktur, dan tata kelola sebelum penerapan riil.

empat validator pada satu host. Penelitian ini belum membandingkan perubahan latensi, throughput, dan penggunaan sumber daya ketika jumlah validator atau transaksi meningkat. Oleh sebab itu, generalisasi kinerja ke jaringan konsorsium skala provinsi belum dapat dilakukan. Pengujian lanjutan perlu membandingkan sekurang-kurangnya konfigurasi 4, 7, dan 10 validator, menjalankan beban konkuren 10-50 pengguna, serta melaporkan throughput, persentil ke-95 latensi, tingkat kegagalan, penggunaan CPU, dan memori.

3.8 Pembahasan

Hasil perancangan dan pengujian menunjukkan bahwa FishChain dapat menjadi alternatif model transparansi distribusi hasil laut di Kepulauan Riau. Dibandingkan sistem manual, FishChain menyediakan jejak digital yang lebih lengkap karena setiap batch memiliki identitas unik, data asal tangkapan, status validasi, dan riwayat perpindahan. Setiap perubahan data penting dicatat sebagai transaksi blockchain sehingga sulit dimodifikasi secara sepihak. Hal ini sejalan dengan karakter blockchain sebagai shared ledger yang dapat meningkatkan transparansi dan kepercayaan antar aktor rantai pasok.

Temuan ini memperkuat penelitian Patro et al. yang menunjukkan bahwa private Ethereum blockchain dapat mendukung traceability, accountability,

transparency, reliability, trust, privacy, dan security pada rantai pasok perikanan [4]. Namun penelitian ini memberikan penyesuaian pada konteks lokal Kepulauan Riau dengan memasukkan aktor TPI, dashboard pemerintah, dan QR Code untuk konsumen. Perbedaan ini penting karena rantai distribusi di daerah kepulauan memiliki tantangan geografis dan kelembagaan yang berbeda dengan model rantai pasok umum.

FishChain juga sejalan dengan konsep fish supply chain berbasis blockchain dan IoT yang dibahas oleh Ismail et al. [5]. Walaupun prototipe dalam penelitian ini belum memasukkan sensor IoT secara langsung, rancangan data telah menyediakan atribut lokasi, timestamp, bobot, dan hash dokumen yang dapat diperluas dengan sensor suhu cold storage, GPS kapal, atau RFID pada kemasan. Dengan demikian, model yang diusulkan dapat menjadi tahap awal sebelum integrasi IoT penuh. Pada implementasi lanjutan, data suhu, kelembaban, dan lokasi pengiriman dapat direkam secara otomatis sehingga mengurangi ketergantungan pada input manual.

Dari aspek desain teknologi, penggunaan permissioned blockchain dinilai lebih sesuai untuk tahap awal karena aktor distribusi dapat diidentifikasi. Dokumentasi Hyperledger Besu menyatakan bahwa Proof of Authority digunakan ketika partisipan jaringan saling dikenal dan terdapat tingkat kepercayaan dalam jaringan konsorsium [18]. Dalam konteks FishChain, validator dapat berasal dari pemerintah daerah, TPI, koperasi nelayan, atau badan usaha pengelola cold storage. Model ini lebih efisien dibandingkan public blockchain karena tidak memerlukan biaya transaksi publik dan dapat dikontrol sesuai tata kelola lokal.

Penggunaan QR Code pada halaman konsumen membantu meningkatkan transparansi publik. Konsumen tidak perlu memahami detail blockchain untuk mengecek asal produk. Cukup dengan memindai QR Code, konsumen dapat melihat informasi dasar seperti jenis ikan, lokasi tangkap, tanggal tangkap, dan riwayat distribusi. Pendekatan ini sesuai dengan penelitian Wang et al. yang menjelaskan bahwa QR Code dan RFID dapat menjadi media input atau akses data traceability dalam rantai pasok pangan [10]. Namun, QR Code memiliki risiko duplikasi fisik, sehingga implementasi lapangan perlu menambahkan mekanisme validasi seperti serial number unik, watermark label, atau verifikasi melalui domain resmi.

Dari sisi kelembagaan, keberhasilan FishChain tidak hanya ditentukan oleh smart contract, tetapi juga kesiapan aktor dalam menginput data dengan benar. Tantangan garbage in garbage out tetap ada: blockchain dapat menjaga data agar tidak mudah diubah setelah tercatat, tetapi tidak menjamin bahwa data awal yang dimasukkan selalu benar. Oleh karena itu, diperlukan verifikasi TPI, standar pencatatan, pelatihan pengguna, serta integrasi perangkat timbang digital atau IoT untuk meningkatkan kualitas data

awal. Hal ini sejalan dengan kajian sistematis yang menekankan bahwa hambatan adopsi blockchain mencakup aspek teknologi, organisasi, dan regulasi [6], [12].

Keterbatasan penelitian ini terletak pada penggunaan data sintetis, responden UAT berbasis skenario, dan pengujian lokal. Prototipe belum diuji pada jaringan produksi dengan volume transaksi tinggi, belum melalui load testing konkuren, audit keamanan komprehensif, atau perbandingan skalabilitas antarkonfigurasi node. Sistem juga belum diintegrasikan dengan layanan pemerintah dan belum melibatkan uji lapangan pada nelayan serta distributor riil. Oleh karena itu, waktu validasi dan skor UAT harus dipahami sebagai indikasi awal, bukan bukti kesiapan implementasi skala provinsi. Penelitian berikutnya perlu melakukan pilot project pada satu jalur distribusi, menguji variasi jumlah validator dan beban pengguna, menjalankan audit smart contract serta penetration testing, dan menggunakan data transaksi nyata dari nelayan, TPI, cold storage, serta retail di Batam atau Tanjungpinang.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan rancangan dan prototipe FishChain sebagai sistem ketertelusuran berbasis blockchain untuk meningkatkan transparansi distribusi hasil laut di Provinsi Kepulauan Riau. Secara ilmiah, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan model traceability berbasis permissioned blockchain yang sesuai dengan karakteristik rantai distribusi hasil laut wilayah kepulauan melalui integrasi smart contract siklus distribusi, role-based access control, QR Code, dashboard pemerintah, dan penyimpanan hybrid. Sistem dirancang menggunakan pendekatan Design Science Research Methodology dengan melibatkan aktor nelayan, TPI, distributor, pemerintah, dan konsumen. Data hasil tangkapan, validasi, transaksi distribusi, lokasi, harga, bobot, serta hash dokumen dicatat melalui smart contract, sedangkan file pendukung disimpan secara off-chain. Pengujian 30 data sintetis menunjukkan fungsi utama berjalan sesuai skenario blackbox; pada jaringan lokal empat validator, transaksi memiliki rata-rata waktu validasi 1,83 detik dan UAT terbatas terhadap 20 responden uji mencapai 86,40%. FishChain berpotensi mengurangi asimetri informasi, memperkuat integritas data, memudahkan monitoring pemerintah, dan memberi akses verifikasi asal produk kepada konsumen melalui QR Code. Meskipun demikian, hasil tersebut masih bersifat awal karena evaluasi menggunakan lingkungan lokal, beban sekuensial, serta responden berbasis skenario. Implementasi berikutnya memerlukan uji lapangan dengan pelaku perikanan riil, load testing konkuren, audit keamanan, evaluasi skalabilitas, integrasi IoT, interoperabilitas dengan sistem pemerintah, dan kajian tata kelola validator.

Daftar Rujukan

- [1] Badan Pusat Statistik, "Volume Produksi dan Nilai Produksi Perikanan Tangkap Menurut Provinsi dan Jenis Penangkapan, 2024," 2026. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/>
- [2] Badan Pusat Statistik Provinsi Kepulauan Riau, "Produksi dan Nilai Produksi Perikanan Tangkap Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Penangkapan di Provinsi Kepulauan Riau, 2022," 2023. [Online]. Available: <https://kepri.bps.go.id/>
- [3] Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia, "5 Kebijakan Ekonomi Biru," 2026. [Online]. Available: <https://kkp.go.id/>
- [4] P. K. Patro, R. Jayaraman, K. Salah, and I. Yaqoob, "Blockchain-Based Traceability for the Fishery Supply Chain," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 81134–81154, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3196162.
- [5] S. Ismail, H. Reza, K. Salameh, H. Kashani Zadeh, and F. Vasefi, "Toward an Intelligent Blockchain IoT-Enabled Fish Supply Chain: A Review and Conceptual Framework," *Sensors*, vol. 23, no. 11, p. 5136, 2023, doi: 10.3390/s23115136.
- [6] E. K. Mawrides, A. Mishra, and B. Jæger, "Blockchain technology for sustainable supply chains in the fishing industry: A systematic review," *Cleaner Logistics and Supply Chain*, vol. 17, p. 100277, 2025, doi: 10.1016/j.clscn.2025.100277.
- [7] J. Cromwell, C. Turkson, M. Dora, and F. A. Yamoah, "Digital technologies for traceability and transparency in the global fish supply chains: A systematic review and future directions," *Marine Policy*, vol. 178, p. 106700, 2025, doi: 10.1016/j.marpol.2025.106700.
- [8] R. M. Ellahi, L. C. Wood, and A. E.-D. A. Bekhit, "Blockchain-Based Frameworks for Food Traceability: A Systematic Review," *Foods*, vol. 12, no. 16, p. 3026, 2023, doi: 10.3390/foods12163026.
- [9] R. M. Ellahi, L. C. Wood, and A. E.-D. A. Bekhit, "Blockchain-Driven Food Supply Chains: A Systematic Review for Unexplored Opportunities," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 19, p. 8944, 2024, doi: 10.3390/app14198944.
- [10] L. Wang, Y. He, and Z. Wu, "Design of a Blockchain-Enabled Traceability System Framework for Food Supply Chains," *Foods*, vol. 11, no. 5, p. 744, 2022, doi: 10.3390/foods11050744.
- [11] R. Astuti, R. Arkeman, T. Djatna, and M. Arkeman, "How might blockchain technology be used in the food supply chain? A systematic literature review," *Cogent Food & Agriculture*, vol. 9, no. 1, p. 2246739, 2023, doi: 10.1080/23311975.2023.2246739.
- [12] A. S. Patel, M. N. Brahmabhatt, A. R. Bariya, J. B. Nayak, and V. K. Singh, "Blockchain technology in food safety and traceability concern to livestock products," *Heliyon*, vol. 9, no. 6, p. e16526, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16526.
- [13] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, and S. Ram, "Design Science in Information Systems Research," *MIS Quarterly*, vol. 28, no. 1, pp. 75–105, 2004.
- [14] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee, "A Design Science Research Methodology for Information Systems Research," *Journal of Management Information Systems*, vol. 24, no. 3, pp. 45–77, 2007, doi: 10.2753/MIS0742-1222240302.
- [15] D. Dey, S. Saha, A. K. Singh, and K. McDonald-Maier, "FoodSQRBlock: Digitizing Food Production and the Supply Chain with Blockchain and QR Code in the Cloud," *Sustainability*, vol. 13, no. 6, p. 3486, 2021, doi: 10.3390/su13063486.
- [16] Ethereum Foundation, "Introduction to smart contracts," 2026. [Online]. Available: <https://ethereum.org/developers/docs/smart-contracts/>
- [17] Solidity, "Solidity Programming Language," 2026. [Online]. Available: <https://www.soliditylang.org/>
- [18] LF Decentralized Trust, "Besu documentation: consensus algorithms and Proof of Authority," 2026. [Online]. Available: <https://lf-hyperledger.atlassian.net/wiki/spaces/BESU>
- [19] A. Pratama, "Analisis Faktor Penentu Implementasi Sistem Ketertelusuran Produk Perikanan," *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 2025.
- [20] T. Rahmadiyah et al., "Integrasi Teknologi Blockchain dalam Sistem Laboratorium Cerdas untuk Meningkatkan Ketertelusuran Produk Perikanan," *Pelita Saintek*, vol. 4, no. 2, 2025, doi: 10.33369/pelastek.v4i2.41664.
- [21] J. Parung, "Blockchain dan Artificial Intelligence untuk Mendukung Smart Cities," *Ubaya Repository*, 2021.