



Pengembangan SiBlock: Sistem *Blockchain* berbasis *Proof of Authority* untuk Meningkatkan Transparansi Distribusi Pupuk Subsidi di Indonesia

Joelian Farrel Reef Mahogra*, Ahmad Riza Rezky Akbar H. Yasin

Universitas Udayana

DOI:

<https://doi.org/10.53697/jkomitek.v6i1.4156>

*Correspondence: Joelian Farrel Reef Mahogra

Email: fr7farrel@gmail.com

Received: 07-03-2026

Accepted: 18-04-2026

Published: 29-05-2026



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: *This study aims to develop SiBlock (Subsidy Blockchain), a blockchain-based subsidized fertilizer distribution system utilizing the Proof of Authority (PoA) mechanism to improve transparency and traceability in the distribution process. The research employed a Design Science Research (DSR) approach consisting of existing system analysis, architecture design, implementation of Solidity-based smart contracts on the Binance Smart Chain (BSC) Testnet, and system validation testing. The system involved three validators representing the Ministry of Agriculture, the Fertilizer and Pesticide Supervisory Commission (KP3), and a Consortium of Universities, with an approval mechanism requiring a minimum of two out of three validators. Testing across four functional scenarios demonstrated that all success indicators were achieved, including successful valid transactions, automatic rejection of quota-exceeded requests, validation of the voting mechanism, and chronological traceability of the entire distribution process on the blockchain network. The results indicate that SiBlock is capable of becoming a concrete solution to strengthen the governance of subsidized fertilizer distribution in Indonesia without altering the existing policy framework.*

Keywords: *Blockchain, Proof Of Authority, Distribusi Pupuk Bersubsidi, Smart Contract*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan mengembangkan SiBlock (Subsidi Blockchain), sistem distribusi pupuk bersubsidi berbasis blockchain Proof of Authority (PoA) untuk meningkatkan transparansi dan keterlacakan distribusi. Pendekatan yang digunakan adalah Design Science Research (DSR) dengan tahapan analisis sistem eksisting, perancangan arsitektur, implementasi smart contract berbasis Solidity pada jaringan Binance Smart Chain (BSC) Testnet, dan uji validasi sistem. Sistem melibatkan tiga validator yaitu Kementerian Pertanian, KP3, dan Konsorsium Perguruan Tinggi dengan mekanisme persetujuan minimal dua dari tiga validator. Pengujian pada empat skenario fungsional menunjukkan seluruh indikator keberhasilan terpenuhi, meliputi keberhasilan transaksi valid, penolakan otomatis kuota terlampaui, validasi mekanisme voting, serta keterlacakan seluruh alur distribusi secara kronologis pada jaringan blockchain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SiBlock berpotensi menjadi solusi konkret untuk memperkuat tata kelola distribusi pupuk bersubsidi di Indonesia tanpa mengubah kerangka kebijakan yang berlaku.

Kata Kunci: Blockchain, Proof of Authority, Distribusi Pupuk Bersubsidi, Smart Contract

Pendahuluan

Pupuk subsidi merupakan kebijakan pemerintah yang bertujuan untuk memudahkan petani dalam mendapatkan pupuk dengan harga yang terjangkau, sehingga dapat mendukung produktivitas pertanian dan mewujudkan ketahanan pangan nasional (Khaq dan Biswan, 2025). Saat ini program subsidi pupuk sudah diatur dalam peraturan Menteri Pertanian RI No. 10 Tahun 2022 yang mengatur tata cara penetapan alokasi dan

Harga Eceran Tertinggi (HET) pupuk (Wijayanti et al., 2024). Pada tahun 2024, pemerintah mengalokasikan subsidi sebesar 9,55 juta ton pupuk dengan memanfaatkan anggaran sebesar Rp 46,8 triliun (Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, 2024). Namun, dalam pelaksanaannya penyaluran pupuk subsidi masih mengalami permasalahan seperti dualisme pasar, distribusi yang tidak adil dan tidak tepat sasaran, harga jual lebih tinggi dari HET yang ditetapkan oleh pemerintah, dan mekanisme pengawasan yang masih kurang optimal (Akadji et al., 2025).

Sejak tahun 2021, subsidi pupuk hanya mampu memenuhi sekitar 45% dari total kebutuhan nasional yaitu sebesar 23 juta ton yang tercatat dalam e-RDKK (Yanwardhana, 2024; Setiawan et al., 2024). Kondisi ini diperparah dengan fakta bahwa dari total 27.319 kios pupuk di Indonesia, sebanyak 2.039 kios terbukti menjual pupuk bersubsidi di atas HET (Kementerian Pertanian, 2025). Contohnya kasus penyelewengan yang terjadi di Provinsi Riau menunjukkan bahwa sistem distribusi pupuk bersubsidi saat ini masih rentan terhadap manipulasi. Dalam kasus tersebut, oknum pengelola kios menggunakan identitas pihak lain untuk memperoleh pupuk subsidi, kemudian menjualnya kembali dengan harga yang lebih tinggi (Pratama, 2020). Kasus ini menunjukkan bahwa sistem distribusi yang ada masih bergantung pada pencatatan terpusat dan pengawasan manual yang rentan dimanipulasi.

Salah satu pendekatan teknologi yang berpotensi untuk diterapkan dalam sistem distribusi pupuk subsidi di Indonesia adalah blockchain (Jaya. et al., 2021). Blockchain merupakan Distributed Ledger Technology (DLT) yang bertugas mencatat seluruh aktivitas transaksi secara permanen dan terdistribusi di dalam sistem (Adisetya et al., 2022). Teknologi ini menjamin integritas data melalui mekanisme konsensus dan kriptografi (Joosten et al., 2024). Selain itu, blockchain mendukung penggunaan smart contract, yaitu kontrak digital yang menjalankan aturan secara otomatis berdasarkan syarat yang ditentukan dalam kode program (Buterin, 2014). Meskipun demikian, implementasi blockchain masih menghadapi sejumlah tantangan seperti biaya, kompleksitas teknis, dan belum matangnya standar industri (Adhicandra, 2024). Oleh karena itu diperlukan mekanisme konsensus yang tidak hanya transparan tetapi juga efisien dan berbasis legitimasi kelembagaan, dalam konteks tata kelola publik mekanisme konsensus Proof of Authority (PoA) dianggap relevan karena mengutamakan efisiensi, kecepatan verifikasi, dan legitimasi kelembagaan. Berbeda dengan Proof of Work (PoW) dan Proof of Stake (PoS), PoA tidak memerlukan proses penambangan sehingga lebih hemat energi dan sesuai untuk sistem blockchain semi-publik yang terkontrol (Joshi, 2021).

Berdasarkan penelitian terdahulu, Christine et al., (2022) menunjukkan bahwa blockchain PoA efektif dalam mencatat transaksi pertanahan secara digital dan mencegah manipulasi data. Permatasari dan Novelin (2024) juga menjelaskan bahwa penerapan blockchain pada pelayanan publik di Indonesia mampu meningkatkan keamanan, transparansi, dan kepercayaan masyarakat. Selain itu, Shaikh et al., (2025) membuktikan bahwa framework blockchain berbasis PoA efektif dalam menjamin keakuratan dan keaslian data aset layanan kesehatan. Namun, belum ditemukan kajian yang secara spesifik menerapkan mekanisme PoA dan smart contract pada tata kelola distribusi pupuk subsidi di Indonesia.

Maka dari itu, tujuan dari penelitian ini adalah merancang sistem SiBlock (Subsidi Blockchain), yaitu sistem distribusi pupuk subsidi berbasis blockchain PoA yang dirancang untuk meningkatkan transparansi dan akuntabilitas pendistribusian pupuk di Indonesia. Sistem ini memfasilitasi setiap kegiatan distribusi mulai dari pengiriman dari pemerintah hingga diterima oleh para petani. Selain itu, SiBlock menjadikan lembaga resmi seperti Kementerian Pertanian yang berperan sebagai validator sistem bertugas untuk mendeploy smart contract, Komisi Pengawasan Pupuk dan Pestisida (KP3) yang berperan sebagai auditor di lapangan untuk memastikan distribusi pupuk aman, dan konsorsium Perguruan Tinggi sebagai pengawas independen dalam mendukung objektivitas pengawasan dan akuntabilitas sistem melalui mekanisme validasi berlapis.

Metode Penelitian

Pendekatan penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Design Science Research (DSR) yang mengacu pada kerangka yang dikemukakan oleh Hevner et al. (2004). Pendekatan ini berfokus pada perancangan dan pengembangan artefak sistem sebagai solusi atas permasalahan tata kelola distribusi pupuk subsidi di Indonesia. DSR dipilih karena penelitian ini bertujuan menghasilkan rancangan sistem distribusi pupuk subsidi berbasis blockchain dengan mekanisme Proof of Authority (PoA) yang mampu meningkatkan transparansi dan akuntabilitas proses penyaluran pupuk. Penelitian dilaksanakan pada periode Januari– Maret 2026 secara simulatif pada lingkungan pengembangan (test environment) menggunakan jaringan Binance Smart Chain (BSC) Testnet.

Alat dan Bahan

Perangkat yang digunakan meliputi:

1. Remix IDE untuk menulis, mengompilasi, dan men-deploy smart contract berbasis Solidity ke jaringan BSC Testnet.
2. MetaMask sebagai dompet digital untuk mengelola akun pengembang dan melakukan transaksi uji.
3. Binance Smart Chain (BSC) Testnet sebagai jaringan uji yang mensimulasikan implementasi prototipe tanpa biaya transaksi riil namun tetap mencerminkan kondisi blockchain sesungguhnya.
4. Visual Studio Code sebagai editor kode dalam pengembangan antarmuka frontend
5. Draw.io untuk memodelkan alur proses sistem menggunakan Business Process Modeling and Notation (BPMN).

Bahan penelitian terdiri atas 100 data dummy Rencana Definitif Kebutuhan Kelompok (RDKK) tahun 2025 dalam format CSV yang mencakup NIK fiktif, nama petani fiktif, luas lahan, jenis pupuk (Urea, NPK, Organik), dan kuota per petani, serta data sekunder berupa literatur ilmiah dan regulasi terkait distribusi pupuk bersubsidi.

Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui lima tahapan utama yang saling berkesinambungan, sebagaimana dirangkum dalam matriks rancangan penelitian (Tabel 1).

Tabel 1. Matriks Rancangan Penelitian SiBlock

Tujuan Penelitian	Tahapan Penelitian	Metode	Instrumen	output
Mengidentifikasi kelemahan sistem distribusi pupuk subsidi yang berjalan saat ini	Analisis sistem eksisting	Studi literatur	Literatur kebijakan pupuk subsidi	Menemukan permasalahan distribusi pupuk subsidi yang terjadi
Mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan mekanisme sistem distribusi pupuk berbasis blockchain.	Analisis kebutuhan sistem SiBlock	Requirement analysis	Literatur distribusi pupuk subsidi dan referensi implementasi blockchain	Spesifikasi kebutuhan sistem SiBlock dan mekanisme dasar distribusi pupuk berbasis blockchain.
Merancang arsitektur sistem SiBlock berbasis blockchain PoA	Perancangan sistem	desain sistem	Draw.io, Remix IDE, dan Business Process Modeling and Notation (BPMN)	Model arsitektur sistem dan diagram alur sistem menggunakan BPMN
Mengembangkan prototipe smart contract dan desain antarmuka (UI/UX) distribusi pupuk subsidi	Implementasi sistem	Prototype development dan smart contract development	Remix IDE, Metamask, Binance Smart Chain Tesnet, dan Visual Studio Code	Prototipe smart contract dan desain antarmuka pengguna (UI/UX) SiBlock
Menguji sistem pada jaringan blockchain	Simulasi sistem	Simulasi transaksi sistem blockchain	BSC tesnet dan metamask	Hasil pengujian dan simulasi transaksi
Mengevaluasi kinerja dan keandalan sistem SiBlock	Uji Validasi Sistem	Scenario-based functional testing	BSC Testnet, MetaMask, data dummy RDKK (100 data)	Laporan hasil uji skenario transaksi dan analisis kinerja sistem

Analisis Sistem Eksisting

Analisis sistem eksisting dilakukan untuk memahami mekanisme distribusi pupuk subsidi di Indonesia berdasarkan Peraturan Menteri Perdagangan No. 15/MDAG/PER/4/2013. Distribusi pupuk subsidi dilaksanakan melalui empat tahap penyaluran, yaitu dari gudang produsen, distributor, pengecer, hingga petani. Pada tahap akhir, petani hanya dapat menebus pupuk subsidi apabila terdaftar dalam kelompok tani dan tercantum dalam E-RDKK, serta menggarap lahan paling luas dua hektar (Permentan Nomor 49 Tahun 2020). Analisis ini mengidentifikasi tiga kelemahan utama sistem yang berjalan yaitu pencatatan terpusat yang rentan manipulasi, pengawasan manual yang tidak terintegrasi antar aktor, dan keterlacakan alur distribusi yang belum berjalan secara end-to-end.

Analisis Kebutuhan Sistem

Kebutuhan sistem diidentifikasi berdasarkan permasalahan utama yang ditemukan pada tahap analisis eksisting. Kebutuhan fungsional sistem SiBlock mencakup: (a)

keterlacakan distribusi (traceability) secara real time pada jaringan blockchain dari produsen hingga petani; (b) verifikasi multi-aktor berlapis oleh Kementerian Pertanian sebagai validator alokasi, KP3 sebagai auditor distribusi fisik, dan Konsorsium Perguruan Tinggi sebagai pengawas independen; (c) otomatisasi validasi kuota pupuk per petani melalui smart contract berdasarkan data RDKK; serta (d) pelaporan dan audit distribusi secara periodik. Kebutuhan non-fungsional mencakup keamanan dan integritas data, transparansi sistem, kontrol akses berbasis peran (role-based access control), keandalan sistem, dan kemudahan penggunaan bagi aktor non-teknis.

Perancangan Sistem SiBlock

Sistem SiBlock dikembangkan menggunakan pendekatan hibrida antara on-chain dan off-chain. Pada arsitektur ini, informasi utama seperti distribusi kuota pupuk, status verifikasi, serta riwayat transaksi distribusi disimpan secara permanen pada lapisan on-chain, sementara data pendukung yang tidak memerlukan pencatatan permanen dikelola pada lapisan off-chain. Pendekatan tersebut dipilih untuk memanfaatkan keunggulan teknologi blockchain dalam menjaga keamanan, integritas, dan keandalan data, sekaligus mempertahankan efisiensi serta fleksibilitas dalam pengelolaan data operasional sistem. Dalam implementasinya, sistem SiBlock melibatkan tiga institusi yang berperan sebagai validator dalam mekanisme konsensus Proof of Authority (PoA), yaitu Kementerian Pertanian, Komisi Pengawas Pupuk dan Pestisida (KP3), serta konsorsium perguruan tinggi. Business Process Modeling and Notation (BPMN) yaitu sebuah standar untuk memodelkan proses bisnis yang menyediakan notasi grafis dalam menjelaskan sebuah proses bisnis (Ismanto et al., 2020). Pemodelan dilakukan melalui platform Draw.io, sehingga menghasilkan representasi visual yang menggambarkan seluruh tahapan distribusi, mulai dari pengajuan kebutuhan pupuk oleh petani hingga pencatatan transaksi penebusan pada jaringan blockchain. Model proses ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pengembangan prototipe sistem pada tahap implementasi.

Implementasi Prototipe

Implementasi sistem SiBlock dilakukan dengan membangun prototipe berbasis teknologi blockchain menggunakan smart contract yang dikembangkan dengan bahasa pemrograman Solidity dan di-deploy pada jaringan Binance Smart Chain (BSC) Testnet. Tahap implementasi mencakup tiga proses utama, yaitu pengembangan smart contract, konfigurasi validator, dan pengembangan antarmuka pengguna (frontend). Pengembangan smart contract dilakukan menggunakan Remix IDE sebagai lingkungan pengkodean dan kompilasi. Proses deployment dilakukan dengan mengompilasi smart contract pada Remix IDE, kemudian menghubungkan Remix dengan MetaMask melalui fitur Injected Provider pada jaringan BSC Testnet, sehingga menghasilkan contract address sebagai identitas unik sistem pada blockchain. Pengembangan antarmuka pengguna dilakukan menggunakan Visual Studio Code untuk membangun frontend yang terhubung dengan smart contract melalui server API.

Uji Validasi Sistem

Pendekatan scenario-based testing ini mengadopsi prinsip dari Tsai et al. (2001) yang memodelkan skenario pengujian fungsional dalam kerangka end-to-end (E2E) untuk

memastikan ketertelusuran terhadap kebutuhan fungsional. Pengujian dilakukan pada jaringan BSC Testnet menggunakan 100 data dummy Rencana Definitif Kebutuhan Kelompok (RDKK) tahun 2025, yang mencakup NIK fiktif, nama petani fiktif, luas tanah, jenis pupuk, dan kuota yang diberikan per petani.

Tabel 2. Skenario Uji Validasi Sistem SiBlock

No	Skenario	Kondisi Uji	Indikator Keberhasilan
1	Transaksi Valid	Petani terdaftar dalam data RDKK mengajukan permintaan pupuk sesuai kuota dengan syarat minimal 2 dari 3 validator menyetujui	Transaksi berhasil dicatat on-chain dan transaction hash terbentuk
2	Penolakan Kuota Terlampaui	Petani mencoba menebus pupuk melebihi kuota yang tercatat dalam RDKK	Smart contract secara otomatis menolak transaksi (<i>require</i> gagal)
3	Voting validator < 2	Hanya 1 dari 3 validator yang memberikan persetujuan terhadap pengajuan distribusi	Sistem menolak pengajuan dan status tetap <i>pending</i>
4	Keterlacakan Distribusi	Penelusuran riwayat distribusi satu petani dari pengajuan hingga penebusan menggunakan transaction hash	Seluruh alur distribusi dapat ditelusuri secara lengkap dan kronologis pada jaringan blockchain

Pengolahan dan Analisis Data

Data yang dikumpulkan meliputi log transaksi dari jaringan BSC Testnet, transaction hash, dan screenshot antarmuka MetaMask sebagai bukti pengujian. Data diorganisir per skenario uji berdasarkan indikator keberhasilan masing-masing dan diklasifikasikan ke dalam empat kategori sesuai skenario pengujian. Analisis dilakukan secara deskriptif-evaluatif dengan dua metrik utama: (1) akurasi validasi smart contract, diukur dari persentase keberhasilan sistem menerima transaksi sesuai ketentuan RDKK dan menolak transaksi yang melanggar; serta (2) keterlacakan alur distribusi, diukur dari kelengkapan rekam jejak transaksi yang dapat ditelusuri secara kronologis melalui transaction hash on-chain. Data perancangan berupa diagram BPMN As-Is dan To-Be juga disajikan sebagai representasi visual alur kerja sistem SiBlock.

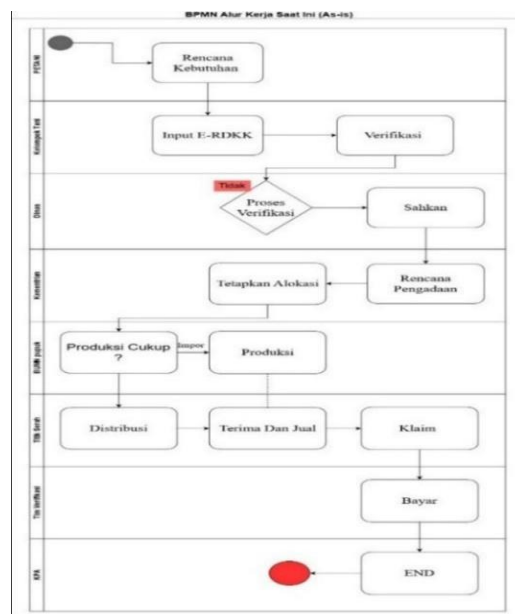
Hasil dan Pembahasan

Hasil Perancangan Sistem SiBlock

Perancangan sistem SiBlock menghasilkan arsitektur hibrida *on-chain* dan *off-chain* dengan *smart contract* berbasis Solidity sebagai komponen inti yang diimplementasikan pada jaringan BSC Testnet. Komponen *on-chain* menyimpan seluruh data yang membutuhkan jaminan integritas dan ketidakberubahan, meliputi registrasi petani berdasarkan data RDKK, pengajuan distribusi oleh distributor, jejak voting validator, transaksi penebusan pupuk oleh petani, serta bukti audit lapangan dalam bentuk *hash*. Setiap data yang tersimpan *on-chain* bersifat *imutabel* sehingga tidak dapat diubah secara sepihak oleh pihak mana pun, dengan demikian seluruh riwayat distribusi dapat diaudit secara terbuka dan kronologis oleh pihak yang berwenang kapan saja tanpa bergantung pada perantara.

Sementara itu, komponen *off-chain* dirancang untuk mengelola data pendukung yang tidak memerlukan pencatatan permanen pada *blockchain*. Komponen ini mencakup database relasional untuk menyimpan dokumen identitas petani, foto bukti serah terima, dan log aktivitas pengguna, serta IPFS (InterPlanetary File System) untuk penyimpanan bukti audit berkapasitas besar yang tidak efisien bila disimpan langsung di *blockchain*. Integritas seluruh dokumen *off-chain* tetap terjamin karena *hash*-nya dicatat secara permanen pada lapisan *on-chain* sebagai referensi keaslian data. Server API berperan sebagai penghubung antarmuka pengguna (*frontend*) dengan *smart contract* dan database *off-chain*, sehingga proses validasi, sinkronisasi data, dan eksekusi transaksi dapat berjalan secara terintegrasi dan efisien. Secara keseluruhan, pendekatan hibrida ini memungkinkan SiBlock memanfaatkan keunggulan *blockchain* dalam menjamin transparansi dan akuntabilitas distribusi, sekaligus menjaga efisiensi biaya transaksi (*gas fee*) dan fleksibilitas pengelolaan data operasional sistem.

Analisis Alur Distribusi Pupuk Bersubsidi (BPMN As-Is)



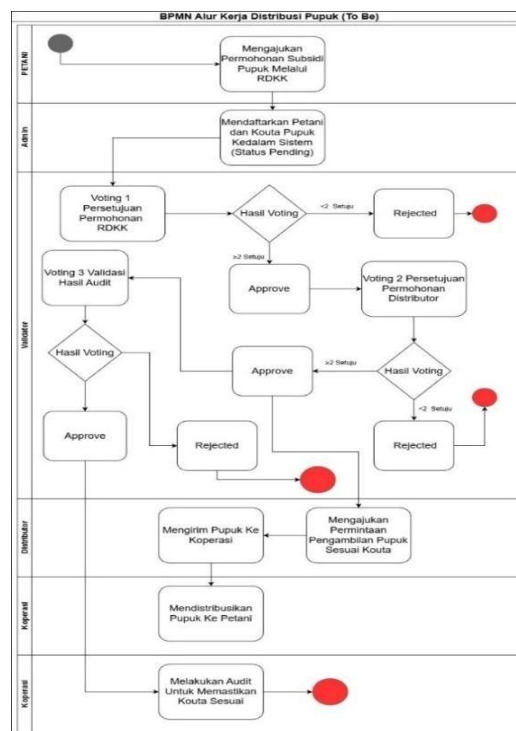
Gambar 1. Alur BPMN (As-Is)

Perencanaan kebutuhan pupuk bersubsidi dilakukan melalui penyusunan e-RDKK oleh kelompok tani yang disahkan secara berjenjang hingga tingkat pusat sebagai dasar penetapan alokasi (Ismail *et al.*, 2026). Meski e-RDKK menjadi sumber data utama, validitasnya sangat bergantung pada ketepatan input manual di tingkat daerah yang dalam praktiknya masih rentan terhadap data tidak valid, bahkan terdapat indikasi penggelembungan *mark-up* luas lahan dan jumlah petani dalam penyusunannya (Fiqriyanto *et al.*, 2023). Berdasarkan Permentan Nomor 49 Tahun 2020, petani yang berhak menerima subsidi harus tergabung dalam kelompok tani, tercantum dalam e-RDKK, serta menggarap lahan maksimal dua hektar atau satu hektar untuk petambak.

Setelah alokasi ditetapkan, penyaluran dilaksanakan oleh BUMN Pupuk melalui jalur distribusi resmi hingga ke titik serah. Namun sistem pengendalian masih didominasi

pelaporan administratif yang terpisah antar-aktor, sehingga keterlacakan alur pupuk dari penetapan alokasi hingga penebusan belum terintegrasi secara transparan dan *real time*. Kondisi ini diperparah oleh lamanya proses pembuatan kartu tani dan minimnya sosialisasi, yang memaksa sebagian petani membeli pupuk non-subsidi dengan harga lebih tinggi (Karundeng, 2022). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan sistem yang mampu meningkatkan integrasi data dan keterlacakan distribusi secara *end-to-end* tanpa mengubah kerangka kebijakan yang berlaku.

Analisis Alur Distribusi Pupuk Bersubsidi (BPMN To-Be)



Gambar 2. Alur BPMN (To-Be)

Pada sistem yang diusulkan, mekanisme utama masih menggunakan e-RDKK, namun diperkuat dengan mekanisme berlapis (multi-validator) terhadap pengajuan RDKK. Proses diawali ketika petani mengajukan permohonan subsidi pupuk melalui RDKK, yang selanjutnya dicatat ke dalam sistem dan diberikan status *pending*. Data permohonan tersebut kemudian diproses oleh beberapa validator untuk dilakukan verifikasi. Hasil verifikasi ditentukan melalui mekanisme voting, di mana keputusan tidak ditetapkan oleh satu pihak, melainkan berdasarkan persetujuan minimal dua dari tiga validator agar permohonan dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya. Setelah permohonan RDKK disetujui, sistem yang diusulkan mengatur tahapan distribusi pupuk berdasarkan kuota yang telah ditetapkan. Distributor mengajukan permintaan pengambilan pupuk sesuai alokasi yang disetujui, kemudian pupuk disalurkan ke koperasi untuk didistribusikan kepada petani. Seluruh proses distribusi dicatat dalam sistem sebagai bagian dari alur data yang terintegrasi, sehingga status penyaluran dapat ditelusuri secara berurutan. Selain itu, setelah distribusi akan dilakukan audit oleh pihak terkait untuk memastikan kesesuaian antara kuota yang disetujui dan realisasi penyaluran. Melalui

mekanisme tersebut, sistem To-Be mendukung pengawasan distribusi pupuk yang lebih konsisten serta memperjelas keterkaitan antara proses persetujuan, penyaluran, dan pengendalian kuota.

Perbandingan Sistem As-Is dan To-Be (SiBlock)

Tabel 3. Perbandingan sistem As-Is dan To-Be

Aspek	Sistem Saat ini (As-Is)	SiBlock (To-Be)
Mekanisme Verifikasi	Verifikasi administratif oleh satu pihak secara hierarkis dan periodik	Verifikasi berlapis oleh multi-validator dengan mekanisme voting (minimal 2 dari 3 persetujuan)
Keterlacakan Distribusi	Pelaporan terpisah antar-aktor, alur distribusi dari penetapan hingga penebusan belum terintegrasi	Seluruh alur distribusi dicatat secara terstruktur dan dapat ditelusuri secara berurutan dalam satu sistem
Integrasi Proses	Tahap persetujuan, distribusi fisik, dan audit pasca distribusi berjalan secara terpisah	Tahap persetujuan, distribusi, dan audit pasca distribusi terintegrasi dalam satu alur data yang saling terhubung
Akuntabilitas Keputusan	Keputusan tidak tercatat secara permanen dan sulit diaudit lintas aktor	Setiap keputusan validator direkam sebagai transaksi on-chain yang tidak dapat diubah dan dapat diaudit kapan saja

Berdasarkan tabel di atas, kesenjangan utama antara sistem As-Is dan To-Be terletak pada tingkat integrasi, akuntabilitas, dan keterlacakan proses. Sistem yang berjalan masih bergantung pada verifikasi administratif yang terpisah antaraktor, sehingga alur distribusi dari penetapan alokasi hingga penebusan belum terpantau secara menyeluruh. Sistem To-Be merespons hal ini dengan menghadirkan mekanisme multi-validator dan pencatatan alur yang lebih terstruktur, serta mengintegrasikan tahap persetujuan, distribusi, dan audit pascadistribusi dalam satu alur data yang saling terhubung tanpa mengubah kerangka kebijakan yang berlaku.

Hasil Implementasi Sistem Smart Contract

Berdasarkan hasil implementasi sistem SiBlock yang dilakukan dengan membangun prototipe *smart contract* menggunakan bahasa pemrograman Solidity dan di-deploy pada jaringan Binance Smart Chain (BSC) Testnet melalui Remix IDE dan MetaMask. Proses deployment menghasilkan alamat kontrak sebagai identitas unik sistem pada *blockchain*, yaitu *Contract Address*: 0x5F461CE4D386D486FDFAae5CaA9b6eF0cECb4B33. Dalam sistem ini, diterapkan mekanisme *multi-validator* dengan menggunakan tiga akun *wallet* terpisah yang merepresentasikan institusi berbeda yaitu Kementerian Pertanian (KEMENTAN), Komisi Pengawasan Pupuk dan Pestisida (KP3), serta konsorsium Perguruan Tinggi. Ketiga akun tersebut diberikan peran sebagai *validator* (VALIDATOR_ROLE) dalam *smart contract*.

Sistem menggunakan mekanisme voting berbasis *blockchain* dengan ketentuan minimal dua persetujuan (`REQUIRED_APPROVALS = 2`) untuk menentukan hasil akhir suatu proses validasi. Mekanisme ini diimplementasikan untuk menciptakan transparansi, akuntabilitas, serta mengurangi risiko manipulasi data oleh satu pihak. Selain itu, penentuan batas minimal persetujuan sebanyak dua validator dari tiga validator yang tersedia juga mempertimbangkan efisiensi biaya transaksi (*gas fee*) dan waktu eksekusi pada jaringan *blockchain*. Dengan demikian, proses validasi tetap menjaga prinsip desentralisasi tanpa menimbulkan *overhead* yang berlebihan. Struktur *smart contract* dalam sistem ini dibagi menjadi beberapa modul utama, yaitu:

- a. `DataStructures`, yang mendefinisikan struktur data seperti `Petani`,
- b. `DistributorRequest`, dan `PenjualanKoperasi`
- c. `RolesAndConstants`, yang mengatur peran pengguna serta konstanta sistem seperti jumlah validator
- d. `VotingLogic`, yang mengelola proses voting dan notifikasi antar validator
- e. `SiBlockSystem`, sebagai kontrak utama yang mengintegrasikan seluruh fungsi sistem

Fungsi-fungsi yang diimplementasikan dalam sistem meliputi:

Tabel 4. Fungsi Smart Contract

Fungsi	Aktor	Deskripsi
<code>registerPetani()</code>	Admin	Mendaftarkan data petani dengan status awal <code>PENDING</code>
<code>Memberikan votePetani()</code>	Validator	persetujuan/penolakan data petani
<code>createDistributorRequest()</code>	Distributor	Mengajukan permintaan distribusi pupuk
<code>submitProof()</code>	Distributor	Mengunggah bukti distribusi dalam bentuk hash
<code>voteDistributorRequest()</code>	Validator	Memverifikasi permintaan distribusi dan bukti pengiriman secara terpisah

Sistem ini juga menerapkan pembatasan akses berbasis peran (*role-based access control*) menggunakan modifier seperti *onlyRole*, sehingga setiap fungsi hanya dapat diakses oleh pihak yang memiliki kewenangan tertentu. Selain itu, setiap aktivitas penting dicatat dalam bentuk *event*, seperti `PetaniRegistered`, `RequestCreated`, dan `PenjualanDibuat`, sehingga proses audit dan pelacakan data secara transparan pada *blockchain* akan lebih mudah dilakukan. Secara keseluruhan, prototipe sistem yang dikembangkan mampu merepresentasikan proses distribusi pupuk secara transparan melalui pencatatan data pada *blockchain*, serta menyediakan mekanisme validasi multi-pihak sebagai bentuk peningkatan akuntabilitas.

Hasil Uji Validasi Sistem

Uji validasi sistem dilakukan terhadap empat skenario utama menggunakan 100 data dummy Rencana Definitif Kebutuhan Kelompok (RDKK) pada jaringan BSC

Testnet. Seluruh skenario menghasilkan output yang sesuai dengan indikator keberhasilan yang telah ditetapkan, sehingga menunjukkan bahwa sistem SiBlock berfungsi sebagaimana yang dirancang.

1. Rekapitulasi Hasil Uji

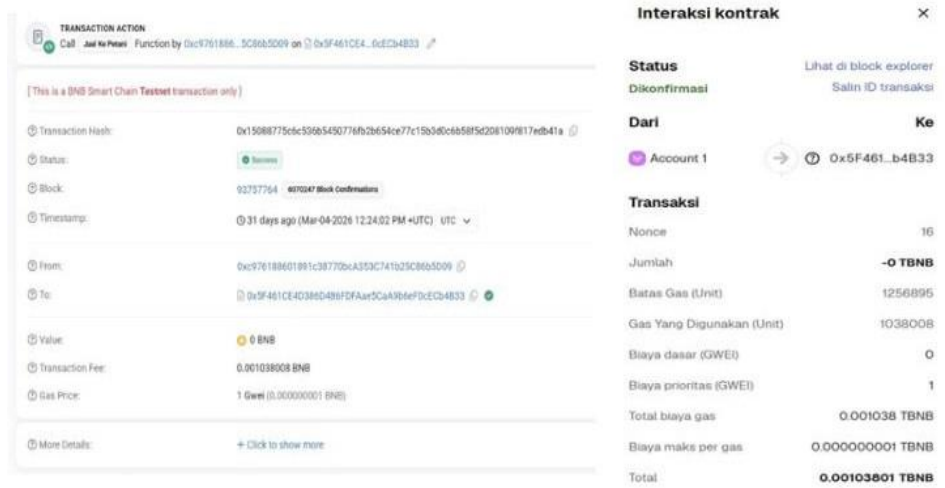
Hasil pengujian validasi sistem dapat dilihat pada tabel rekapitulasi berikut:

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Uji

No	Skenario	Hasil	Kesesuaian Indikator
1	Transaksi Valid	Berhasil	Sesuai
2	Penolakan kouta terlampaui	Berhasil ditolak	Sesuai
3	Voting validator < 2	Pending	Sesuai
4	Keterlacakan Distribusi	Berhasil ditelusuri	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian semua skenario menunjukkan sistem SiBlock berhasil berfungsi sesuai kebutuhan fungsional yang telah ditetapkan.

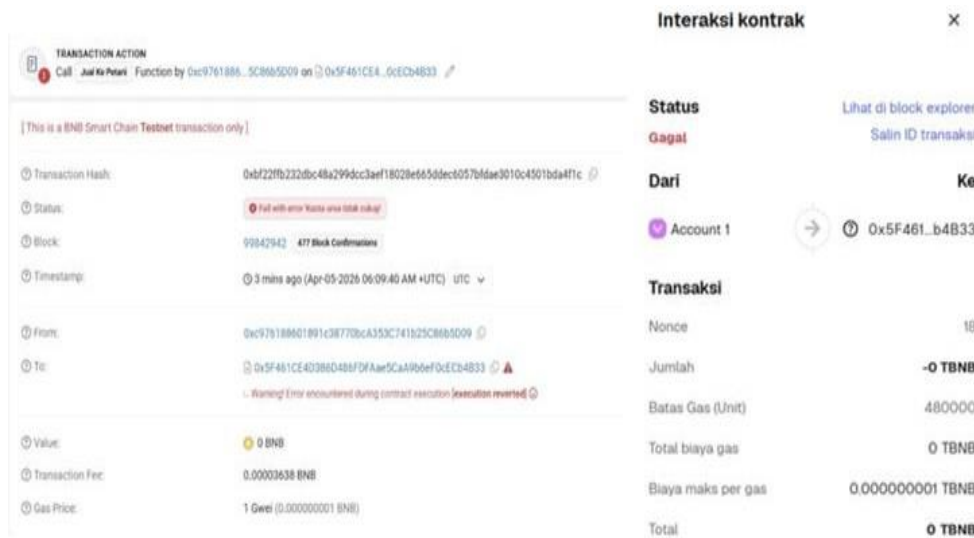
2. Hasil Uji per Skenario Transaksi valid (skenario 1)



Gambar 3. Bukti Transaksi Valid

Pengujian skenario transaksi valid dilakukan dengan memanggil fungsi jualKePetani() dengan syarat status petani aktif dalam sistem setelah mendapatkan validasi dari dua validator. Transaksi ini berhasil dieksekusi dengan status Sukses pada Block 93757764 di jaringan BSC Testnet pada tanggal 4 Maret 2026 pukul 12:24 UTC, dengan biaya transaksi yang dikenakan sebesar 0.001038008 BNB. Bukti dari transaksi ini dapat diverifikasi secara publik melalui BSC Testnet Explorer dengan *transaction hash* 0x15088775c6c536b5450776fb2b654ce77c15b3d0c6b58f5d208109f817edb41a, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Hal ini menunjukkan bahwa sistem SiBlock berbeda dengan sistem yang sedang berlaku, Menurut Fatika *et al.*, (2025) pada sistem saat ini verifikasi penerima pupuk masih harus melalui birokrasi yang sangat rumit dan lemahnya koordinasi antar stakeholder. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan serius antara desain kebijakan dan implementasi di lapangan. Terbukti Dari total 6,3 juta petani dalam RDKK, sebanyak 13 persen NIK dinyatakan tidak valid.

Penolakan kouta terlampaui (skenario 2)



Gambar 4. Bukti Penolakan Kuota Terlampaui

Pengujian skenario penolakan kuota terlampaui dilakukan dengan mencoba mengeksekusi fungsi `jualKePetani()` dengan jumlah pupuk yang melebihi kuota yang tercatat dalam data RDKK. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *smart contract* secara otomatis menolak transaksi dengan pesan *error* "Kuota urea tidak cukup" dan transaksi berstatus gagal dengan kondisi *execution reverted*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini membuktikan bahwa mekanisme validasi otomatis dalam *smart contract* SiBlock berfungsi efektif dalam mencegah transaksi yang melanggar ketentuan kuota RDKK tanpa memerlukan intervensi manual dari pihak mana pun.

Voting validator < 2 (skenario 3)



Gambar 5. Bukti Status *Pending* Saat Voting Validator <2

Pengujian skenario voting validator <2 dilakukan dengan hanya mengaktifkan satu dari tiga validator untuk memberikan persetujuan terhadap data petani. Hasil pengujian menunjukkan bahwa meskipun satu validator telah memberikan suara persetujuan, status petani tetap *Pending* dan tidak berubah menjadi *approved*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Kondisi ini membuktikan bahwa mekanisme voting PoA dalam sistem SiBlock

berjalan sesuai ketentuan, di mana minimal dua dari tiga validator harus menyetujui sebelum status berubah menjadi *approved*.

Keterlacakan distribusi (Skenario 4)

Transaction Hash	Method	Block	Age	From	To	Amount	Txn Fee
0xc28921c11f5a...	Jual Ke Petani	99848867	8 secs ago	0xc9761886...5C86b5D09	0x5F461CE4...0cECb4B33	0 BNB	0.001038
0x314704967a...	Vote Proof Su...	99848376	3 mins ago	0x7ae241D7...Fc1764a3d	0x5F461CE4...0cECb4B33	0 BNB	0.00014256
0xa44094d81fd...	Vote Proof Su...	99848262	4 mins ago	0x0ba05927...237bb8Ddd	0x5F461CE4...0cECb4B33	0 BNB	0.00012172
0x50ea208282...	Submit Proof	99848135	5 mins ago	0xb3e93D54...5602f538B	0x5F461CE4...0cECb4B33	0 BNB	0.00012301
0x3c724c50ca...	Vote Distribut...	99847981	6 mins ago	0x7ae241D7...Fc1764a3d	0x5F461CE4...0cECb4B33	0 BNB	0.00014008
0xc2b2413804a...	Vote Distribut...	99847848	7 mins ago	0x0ba05927...237bb8Ddd	0x5F461CE4...0cECb4B33	0 BNB	0.00011926
0xd04376f536d...	Create Distrib...	99847704	8 mins ago	0xb3e93D54...5602f538B	0x5F461CE4...0cECb4B33	0 BNB	0.00032722
0xbc07674816...	Vote Petani	99847424	10 mins ago	0x6818218f...Ed7D58cf7	0x5F461CE4...0cECb4B33	0 BNB	0.0001042
0x9c1f0274741...	Vote Petani	99846801	15 mins ago	0x7ae241D7...Fc1764a3d	0x5F461CE4...0cECb4B33	0 BNB	0.00012008
0x764780b94a...	Vote Petani	99845095	28 mins ago	0x0ba05927...237bb8Ddd	0x5F461CE4...0cECb4B33	0 BNB	0.00012007
0xc2efbe99f1d...	Register Petani	99844925	29 mins ago	0xc0eDa00b...652c9c979	0x5F461CE4...0cECb4B33	0 BNB	0.00569926

Gambar 6. Bukti Keterlacakan Distribusi

```

21. getPenjualanByPetani (0x89249dca)
  _RDKK (string)
  RDKK-005

Query

L. tuple[]

[getPenjualanByPetani(string) method Response ]
>> tuple[] : [{"0x97a9c0cd72715f7e06781a0d3c9fd2b125ba1d35f91d7673d5fa67841ddc71d","0x4320265598b0e1e3acf916dc6f472bcd1a0e9c7acb063890b4d522539c4fd9","RDKK-005","15","5000","30","7000","25","3000","360000","0xc976188601891c38770bcA353C741b25C86b5D09","1770698350"}, {"0xd4acaba22deedd679a9c3e5b6c9b1a762b3a7c200687034aa276d748d220e5","0x4320265598b0e1e3acf916dc6f472bcd1a0e9c7acb063890b4d522539c4fd9","RDKK-005","15","5000","30","7000","25","3000","360000","0xc976188601891c38770bcA353C741b25C86b5D09","1770698431"}]
    
```

Gambar 7. Bukti Rincian Harga per Transaksi

Pengujian skenario 4 dilakukan dengan menelusuri riwayat transaksi seluruh alur distribusi menggunakan BSC Testnet Explorer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa 11 transaksi tercatat secara kronologis dan permanen pada jaringan *blockchain*, merepresentasikan setiap tahapan mulai dari registerPetani, votePetani oleh tiga validator, createDistributorRequest, voteDistributorRequest, submitProof, voteProofSubmission, hingga jualKePetani (Gambar 6). Hal ini membuktikan bahwa setiap tahapan distribusi tidak dapat dilewati maupun dimanipulasi. Temuan tersebut diperkuat oleh Gambar 7. yang menampilkan rincian harga transaksi melalui fungsi getPenjualanByPetani pada fitur Read Contract BSC Testnet Explorer. Data yang tercatat mencakup identitas unik transaksi, identitas petani (RDKK- 005), serta rincian pembelian Urea 15 kg (Rp5.000/kg), NPK 30 kg (Rp7.000/kg), dan pupuk organik 25 kg (Rp3.000/kg) dengan total pembayaran Rp360.000, sesuai keseluruhan jumlah pembelian.

Dengan demikian, SiBlock terbukti mampu menjamin keterlacakan distribusi secara *end-to-end* beserta transparansi harga di tingkat petani tanpa celah manipulasi. Kondisi ini berbeda signifikan dengan sistem konvensional yang masih rawan penyelewengan seperti ketidaktepatan waktu dan harga jual yang berbeda dengan HET (Hidayat *et al.*, 2024).

Kesimpulan

Perancangan sistem SiBlock berbasis blockchain Proof of Authority (PoA) berhasil memodelkan alur distribusi pupuk subsidi yang lebih terstruktur, transparan, dan terintegrasi melalui mekanisme verifikasi berlapis multi-validator dan otomatisasi validasi kuota berbasis smart contract. Hasil uji validasi menunjukkan bahwa seluruh skenario pengujian memenuhi indikator keberhasilan sistem mampu menerima transaksi yang valid, menolak transaksi yang melanggar ketentuan, serta menampilkan riwayat distribusi secara kronologis dan permanen pada jaringan blockchain. Dengan demikian, SiBlock terbukti mampu menyediakan rekam jejak distribusi yang dapat diaudit secara terbuka, sehingga berpotensi memperkuat efektivitas pengawasan dan akuntabilitas tata kelola pupuk subsidi di Indonesia.

Pengembangan SiBlock selanjutnya memerlukan beberapa langkah strategis yang mencakup aspek teknis, kelembagaan, dan regulasi. Dari sisi implementasi, sistem perlu ditransisikan dari tahap prototipe menuju penerapan nyata melalui pilot project berbasis data riil, sekaligus diintegrasikan dengan infrastruktur yang telah tersedia seperti e-RDCK guna menghindari duplikasi sistem dan mempercepat adopsi teknologi. Pada tataran regulasi, diperlukan landasan hukum yang komprehensif mencakup legalitas data blockchain, penetapan peran validator, serta standar keamanan dan privasi data, yang harus diiringi dengan program pelatihan dan sosialisasi sistematis kepada seluruh pemangku kepentingan. Secara teknis, arsitektur smart contract sebaiknya dirancang secara modular sejak awal guna mencegah error stack too deep pada Solidity, serta diperkuat dengan integrasi autentikasi biometrik dan mekanisme role-based access control yang merepresentasikan hierarki administratif distribusi pupuk bersubsidi secara akurat. Selain itu, mengingat mayoritas penerima subsidi merupakan kelompok usia lanjut, pengembangan fitur pewarisan data kepada ahli waris dan penonaktifan akun menjadi kebutuhan yang tidak dapat diabaikan untuk menjaga akurasi dan keberlanjutan sistem dalam jangka panjang. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji aspek efisiensi biaya, kapasitas operasional, dan skalabilitas sistem pada skala nasional.

Daftar Pustaka

- Adhicandra, I. (2024). Implementasi Teknologi Blockchain Dalam Sistem Manajemen Logistik Untuk Meningkatkan Keandalan Dan Transparansi. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran*, 7(2). <https://doi.org/10.31004/jrpp.v7i2.27820>
- Adisetya E., Widyowanti R.A., Ruswanto A., dan Ngatirah. (2022). Rantai Pasok Agroindustri Berbasis Blockchain: Harapan Dan Tantangan. *Jurnal Ilmiah Indonesia*. 7(1). <http://dx.doi.org/10.36418/syntax-literate.v7i1.5785>
- Admin U. (2024). Pupuk Bersubsidi 2025 Dialokasikan 46,8T, Jatim 8T, Jateng 6 T dan Sulsel 4T. Volume meningkat 100%. <https://psp.pertanian.go.id/berita/pupuk-bersubsidi-2025-dialokasikan-468t-jatim-8t-jateng-6-t-dan-sulsel-4t-volume-meningkat-2024-12-30>.
- Akadji S., Insani N., dan Rusmulyadi. (2025). Efektivitas Pendistribusian Pupuk Bersubsidi kepada Masyarakat. *Politika Progresif : Jurnal Hukum, Politik dan Humaniora*. 2(2).
- Christine H., Novelianto K.T., Restiawati M., Jayanti H.Y., Afriyadi. (2022). A Study of Permissioned Blockchain-Based Framework for Land Ownership Tracking in

- Indonesia. *Jurnal Interkom: Jurnal Publikasi Ilmiah Bidang Teknologi Informasi dan Komunikasi*. 17 (3): 119. <https://doi.org/10.35969/interkom.v17i3.258>
- Fatika Y.K., Umar H., dan Nirmalawati D. (2025). Analisis Efektivitas Distribusi Program Pupuk Bersubsidi di Indonesia. *Jurnal Doktor Manajemen*. 8(2). <http://doi.org/10.22441/jdm.v8i2.33990>
- Fiqrianto, T., Rizal, R., dan Muksin, M. (2023). Partisipasi Kelompok Tani Dalam Penyusunan Rencana Definitif Kebutuhan Kelompok (RDKK) Pupuk Bersubsidi dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhinya: Farmer Group Participation in the Preparation of the Definitive Plan of Group Needs (RDKK) for Subsidized Fertilizers and its Influencing Factors. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 23(2), 118–126. <https://doi.org/10.25047/jii.v23i2.3909>
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, 28(1), 75 <https://doi.org/10.2307/25148625>
- Hidayat, A. R. N., Yunus, R., dan Rusli, A. M. (2024). Pengawasan pemerintah daerah dalam mengatasi kelangkaan pupuk bersubsidi di Kabupaten Bone. *NeoRespublica: Jurnal Ilmu Pemerintahan*, 5(2), 731–749. <https://doi.org/10.52423/neores.v5i2.234>
- Ismail, H., Rochim, A.I., Caurelysia, N.P., dan Putri, C.K.P. (2025). Institutional Analysis and Development pada Kebijakan Pupuk Bersubsidi: Studi Penyusunan RDKK di Kabupaten Bojonegoro. *Transparansi : Jurnal Ilmiah Ilmu Administrasi* 8 (2), pp. 418-430 DOI: <https://doi.org/10.31334/transparansi.v8i2.4733>
- Ismanto, I., Hidayah, F., dan Kristinanti, K. (2020). Pemodelan proses bisnis menggunakan Business Process Modelling Notation (BPMN) (studi kasus Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P2KM) Akademi Komunitas Negeri Putra Sang Fajar Blitar). *Briliant Jurnal Riset dan Konseptual*, 5(1), 69. <https://doi.org/10.28926/briliant.v5i1.430>
- Jaya R., Yusriana, dan Fitria E. (2021). Review Manajemen Rantai Pasok Produk Pertanian Berkelanjutan: Konseptual, Isu Terkini, dan Penelitian Mendatang. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 26 (1),78-91. <https://doi.org/10.18343/jipi.26.1.78>
- Joosten., Libra J., Diefang K., Wijaya V., Therano R., dan Nagata K. (2024). Mengupas Tuntas Teknologi Blockchain: Panduan Memahami Revolusi Di Balik Mata Uang Kripto Modern. *Jurnal Nusantara Journal of Multidisciplinary Science*. 2(4). <https://orcid.org/0009-0006-7739-7968>
- Joshi S. (2021). Feasibility Of Proof Of Authority As A Consensus Protocol Model. Department of Computer Science and Engineering. <https://arxiv.org/pdf/2109.02480v1>.
- Karundeng, H. (2022). Implementasi Kebijakan Penyaluran Pupuk Bersubsidi Di Kabupaten Pohuwatu. *Jurnal Administro (Jurnal Kajian Kebijakan Dan Ilmu Administrasi Negara)*, 4(2), 1–6. <https://doi.org/10.53682/Administro.V4i2.5707>
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2020) Peraturan Menteri Pertanian Nomor 49 Tahun 2020 tentang alokasi dan harga eceran tertinggi pupuk bersubsidi. Tersedia pada: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/201273/permentan-no-49-tahun-2020>
- Kementerian Perdagangan Republik Indonesia. (2013) Peraturan Menteri Perdagangan Nomor 15/M-DAG/PER/4/2013 tentang pengadaan dan penyaluran pupuk

- bersubsidi untuk sektor pertanian. Tersedia pada:
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/129267/permendag-no-15m-dagper42013-tahun-2013>
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2025) Mentan Amran: Pemerintah Tindak 2.039 Kios Pupuk Rugikan Petani Rp600 Miliar Tersedia pada:
https://www.pertanian.go.id/indikator/img_viewer.php?show=news&act=view&id=7195
- Khaq, M. Z., dan Biswan, A. T. (2025). Optimalisasi subsidi pupuk: Mengatasi inefisiensi biaya subsidi dan mekanisme distribusinya. *Journal of Law, Administration, and Social Science*, 5(1), 88–100. <https://doi.org/10.54957/jolas.v5i1.1322>
- Pratama D.N. (2020). Pendistribusian Pupuk Bersubsidi Yang Berimplikasi Tindak Pidana Ekonomi. *Jurnal Rechtsens*. 9 (2). <https://doi.org/10.36835/rechtsens.v9i2>
- Permatasari, N., & Novelin, A. (2024). Penerapan teknologi blockchain dalam pelayanan publik: Meningkatkan keamanan, transparansi, dan kepercayaan masyarakat melalui website onlinepajak. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, *10*(14), 764–773. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13739365>
- Setiawan M.G., Suryani S.O., Suhada H.R., Wibowo S., Wahidah A.N., Rahmatullah R.A., dan Hartono A. (2024). Optimalisasi Subsidi Pupuk untuk Mendukung Ketahanan Pangan Nasional. *Jurnal Pertanian, Kelautan, Dan Biosains Tropika*. 6 (4).
- Shaikh M.F., Hassan S.H., Maccaro A., Pratesi G., Piaggio D. (2025). A Blockchain Framework Using Proof Of Authority And Smart Contracts For Ethical And Secure Healthcare Asset Management. *Front Public Health*. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1638546>
- Tsai, W.-T., Bai, X., Paul, R., dan Yu, L. (2001). Scenario-based functional regression testing. *Proceedings of the 25th Annual International Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2001)* (pp. 496–501). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CMPSAC.2001.960659>
- Wijayanti, N., Nurwahidah, S., Hartono, Y., Mastar, S., dan Pebriana, L. (2024). Efektivitas pendistribusian pupuk bersubsidi berdasarkan prinsip 6 tepat di Kabupaten Sumbawa. *Musamus Journal of Agribusiness*, 7(1), 9–16. <https://doi.org/10.35724/mujagri.v7i1.5957>