



PERANCANGAN SISTEM TRANSPARANSI DAN KETERTELUKURAN DATA LAYANAN ALAT PERTANIAN BERBASIS KONTRAK PINTAR PROXY PADA JARINGAN BLOCKCHAIN

HENDRIKUS ADI PURNAMA



**PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam tesis saya yang berjudul Perancangan Sistem Transparansi Dan Ketertelusuran Data Layanan Alat Pertanian Berbasis Kontrak Pintar Proxy Pada Jaringan Blockchain adalah karya saya dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam berbagai bentuk kepada perguruan tinggi lainnya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2026

Hendrikus Adi Purnama
G6501221008



RINGKASAN

HENDRIKUS ADI PURNAMA. Perancangan Sistem Transparansi dan Ketertelusuran Data Layanan Alat Pertanian Berbasis Kontrak Pintar Proxy Pada Jaringan Blockchain. Dibimbing oleh IRMAN HERMADI dan HERU SUKOCO.

Sektor pertanian membutuhkan sistem digital yang mampu mendukung pencatatan transaksi, ketertelusuran layanan, dan penyesuaian aturan operasional. Pada layanan penyewaan serta subsidi sewa alat pertanian, tantangan utama terletak pada keabsahan transaksi, keamanan data, riwayat penggunaan alat, dan kemampuan sistem beradaptasi terhadap perubahan kebijakan. Penelitian ini mengusulkan integrasi blockchain melalui kontrak pintar dengan pendekatan factory contract dan proxy contract. Blockchain digunakan untuk mencatat transaksi secara permanen, transparan, dan dapat diverifikasi, sedangkan arsitektur proxy memungkinkan pembaruan logika tanpa mengganti alamat layanan.

Sistem yang dikembangkan memiliki tiga fitur utama, yaitu mekanisme sewa dua tahap prepare-commit, subsidi penyedia melalui dana escrow, dan rules engine berbasis Reverse Polish Notation (RPN). Arsitektur sistem bersifat hibrid dengan Ethereum sebagai lapisan pencatatan transaksi, MongoDB untuk data profil dan antarmuka, React.js sebagai frontend, serta Node.js dan Express.js sebagai backend.

Hasil benchmark menunjukkan bahwa setter parameter lebih hemat untuk perubahan nilai pada formula tetap, dengan rata-rata 30.499–46.744 gas per pembaruan. RPN membutuhkan rata-rata 269.662–339.962 gas, tetapi mampu mengubah struktur formula dengan konsumsi 339.962–366.282 gas tanpa deployment implementasi baru, mempertahankan alamat layanan, dan mencatat versi aturan untuk kebutuhan audit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa setter lebih efisien untuk pembaruan sederhana, sedangkan RPN lebih fleksibel untuk perubahan formula yang berulang, kompleks, dinamis, dan operasional. Evaluator RPN juga dilengkapi validasi struktur ekspresi dengan batas kedalaman stack sehingga formula yang tidak valid atau melampaui batas ditolak melalui revert terkontrol, dengan konsumsi gas evaluator meningkat dari 27.294 menjadi 147.195 gas seiring bertambahnya kedalaman. Pengujian perpindahan implementasi dari V1 ke V2 juga menunjukkan bahwa arsitektur proxy dapat memperbarui logika secara atomik tanpa mengubah alamat layanan maupun struktur penyimpanan data, dengan transaksi dan snapshot aturan sebelumnya tetap konsisten.

Kata kunci: aplikasi, alat pertanian, blockchain, kontrak pintar, ketertelusuran data.



SUMMARY

HENDRIKUS ADI PURNAMA. Designing a Blockchain-Based Transparency and Traceability System for Agricultural Machinery Services Using Proxy *Smart Contracts*. Supervised by IRMAN HERMADI and HERU SUKOCO.

The agricultural sector requires digital systems that support transaction recording, service traceability, and adjustments to operational rules. In agricultural equipment rental and provider-funded subsidy services, the main challenges involve transaction validity, data security, equipment usage history, and the system's ability to adapt to policy changes. This study proposes blockchain integration through smart contracts using factory contract and proxy contract approaches. Blockchain is used to record transactions permanently, transparently, and verifiably, while the proxy architecture allows logic upgrades without changing the service address.

The developed system provides three main features: a two-step prepare-commit rental mechanism, provider subsidies through escrow funds, and a Reverse Polish Notation (RPN)-based rules engine. The architecture is hybrid, with Ethereum serving as the transaction recording layer, MongoDB storing profile and interface data, React.js as the frontend, and Node.js with Express.js as the backend.

Benchmark results show that parameter setters are more economical for value-only updates on fixed formulas, averaging 30,499–46,744 gas per update. RPN requires 269,662–339,962 gas on average, but supports structural formula changes at 339,962–366,282 gas without deploying a new implementation, while preserving the service address and recording rule versions for audit purposes. These results indicate that setters prioritize efficiency, whereas RPN prioritizes flexibility and auditability. The RPN evaluator is also equipped with expression-structure validation and a stack-depth limit, so invalid or oversized formulas are rejected through a controlled revert, with evaluator gas rising from 27,294 to 147,195 as the depth increases. In addition, the V1-to-V2 upgrade test shows that the proxy architecture can update the contract logic atomically without changing the service address or the data storage layout, while previously created transactions and rule snapshots remain consistent.

Keywords: agricultural equipment, application, blockchain, data traceability, smart contract



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



PERANCANGAN SISTEM TRANSPARANSI DAN KETERTELUKURAN DATA LAYANAN ALAT PERTANIAN BERBASIS KONTRAK PINTAR PROXY PADA JARINGAN BLOCKCHAIN

HENDRIKUS ADI PURNAMA

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Komputer pada
Program Studi Ilmu Komputer

**PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Dr. Shelve Nidya Neyman, S.Kom, M.Si

Perpustakaan IPB University



Judul Tesis : Perancangan Sistem Transparansi dan Ketertelusuran Data Layanan Alat Pertanian Berbasis Kontrak Pintar Proxy pada Jaringan Blockchain

Nama : Hendrikus Adi Purnama
NIM : G6501221008

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Irman Hermadi, S.Kom., M.S., Ph.D.

Pembimbing 2:

Dr. Eng. Heru Sukoco, S.Si., MT.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Irman Hermadi, S.Kom., M.S., Ph.D.
NIP 19750311 200604 1 009

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika:

Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom.
NIP 19660702 199302 1 001

Tanggal Ujian: 14 Juli 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karunia-Nya sehingga tesis ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang diangkat dalam tesis ini dilaksanakan sejak bulan Oktober 2023 sampai bulan September 2025, dengan judul "Perancangan Sistem Transparansi dan Ketertelusuran Data Layanan Alat Pertanian Berbasis Kontrak Pintar Proxy pada Jaringan Blockchain". Penulisan tesis ini adalah salah satu syarat dalam memperoleh gelar Magister Komputer pada Program Studi Ilmu Komputer Institut Pertanian Bogor.

Dengan penuh rasa hormat, penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Irman Hermadi, S.Kom., M.S., Ph.D. dan Bapak Dr. Eng. Heru Sukoco, S.Si., M.T. atas segala bimbingan, arahan, dan motivasi yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

Ucapan terima kasih yang tulus dan penuh kasih penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Karel Yoseph Rauy dan Ibu Agustina Heni Susilowati, yang tidak pernah berhenti memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang tanpa syarat. Juga kepada adik-adik tersayang Ignatius Chris Prasetyo dan Rafael Vitto Matarau, yang selalu menjadi sumber semangat dan penguat dalam setiap langkah penulis. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada teman-teman Magister Ilmu Komputer untuk kebersamaan yang telah dilalui selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Ilmu Komputer.

Semoga segala kebaikan, bimbingan, dan doa yang telah diberikan kepada penulis senantiasa mendapat balasan dari Tuhan yang mahakuasa. Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat dan menjadi bagian kecil dari kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2026

Hendrikus Adi Purnama



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Ruang Lingkup	5
II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pertanian	7
2.2 Teknologi Blockchain	8
2.3 <i>Smart Contract</i>	18
2.4 Ethereum	21
2.5 <i>Software Development Life Cycle (SDLC)</i>	22
2.6 <i>Database Management System (DBMS)</i>	24
III METODE	25
3.1 Data Penelitian	25
3.2 Tahapan Penelitian	25
3.3 Konsep <i>Smart Contract</i> yang akan Dikembangkan	27
3.4 Gambaran Arsitektur Sistem	28
3.5 Peralatan Penelitian	30
IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 <i>Communication</i>	31
4.2 <i>Quick Plan</i>	34
4.3 <i>Quick Design</i>	49
4.4 <i>Construction of Prototype</i>	51
4.5 <i>Deployment, Delivery and Feedback</i>	71
V SIMPULAN DAN SARAN	91
5.1 Simpulan	91
5.2 Saran	91
DAFTAR PUSTAKA.....	92
RIWAYAT HIDUP	102



DAFTAR TABEL

1	Tabel 1 Matriks rincian aktor	32
2	Tabel 2 <i>Use case</i> mendaftarkan kategori berbasis kontrak pintar	38
3	Tabel 3 <i>Use case</i> memodifikasi aturan kontrak pintar	39
4	Tabel 4 <i>Use case</i> pendaftaran alat pertanian	40
5	Tabel 5 <i>Use case</i> menyewa alat pertanian	41
6	Tabel 6 <i>Use case</i> pengembalian alat pertanian	42
7	Tabel 7 <i>Use case</i> melihat transaksi penyewaan	43
8	Tabel 8 Hasil pengujian <i>black-box testing</i>	72
9	Tabel 9 Konsumsi gas per fungsi pada jaringan lokal Hardhat	79
10	Tabel 10 Perbandingan setter parameter dan RPN Rules Engine pada perubahan aturan berulang	80
11	Tabel 11 Konsumsi gas setRules() berdasarkan jumlah aturan	82
12	Tabel 12 Hasil uji kebenaran evaluator RPN evalExpr()	83
13	Tabel 13 Ringkasan audit statis Slither pada kontrak inti sistem	84
14	Tabel 14 Estimasi biaya transaksi pada jaringan Ethereum <i>mainnet</i>	85
15	Tabel 15 Hasil pengujian keamanan konfigurasi stack evaluator RPN	86
16	Tabel 16 Konsumsi gas evaluator berdasarkan kedalaman stack	87
17	Tabel 17 Gas konfigurasi dan waktu eksekusi lokal berdasarkan kedalaman stack	87
18	Tabel 18 Ringkasan hasil pengujian upgrade kontrak V1 ke V2	88



DAFTAR GAMBAR

1	Struktur data blockchain (Zheng <i>et al.</i> 2018)	8
2	Arsitektur blockchain (Imran 2023)	9
3	Proof of work vs <i>proof of stake</i> consensus (Takyar 2019)	16
4	Flow <i>smart contract</i> (Mohanta <i>et al.</i> 2018)	18
5	Proses <i>proxy contract</i>	19
6	Proses <i>factory contract</i>	21
7	Metode prototyping	23
8	Metode prototyping	25
9	Alur bisnis layanan alat pertanian dengan teknologi <i>smart contract</i>	27
10	Model arsitektur sistem	28
11	Model Sistem Data Layanan Pertanian	32
12	Alur kerja sistem blockchain platform	34
13	Arsitektur sistem layanan alat pertanian berbasis blockchain	36
14	Struktur jaringan blockchain	37
15	Diagram <i>Use case</i> layanan alat pertanian	38
16	<i>Activity diagram</i>	45
17	<i>Class diagram off-chain</i>	46
18	<i>Class diagram on-chain</i>	48
19	<i>Class diagram</i> sinkronisasi antar lapisan	49
20	Desain prototipe halaman administrator	50
21	Desain prototipe halaman petani	50
22	Desain prototipe halaman penyedia	51
23	<i>Activity diagram</i> mendaftarkan kategori <i>smart contract</i>	52
24	Antarmuka manajemen kategori <i>smart contract</i>	53
25	Potongan code createCategory()	54
26	<i>Output</i> pembuatan kategori <i>smart contract</i>	54
27	<i>Activity diagram</i> memperbarui aturan <i>smart contract</i>	55
28	Antarmuka pembaruan aturan kategori <i>smart contract</i>	56
29	Potongan code setRules()	56
30	Potongan code evaluator RPN evalExpr()	57
31	Output memperbarui aturan <i>smart contract</i>	58
32	<i>Activity diagram</i> mendaftarkan alat pertanian	59
33	Antarmuka <i>Dashboard</i> Penyedia	59
34	Potongan code registerEquipment()	60
35	Output contract EquipmentRegistry	61
36	<i>Activity diagram</i> mengaktifkan saldo subsidi alat	61
37	Antarmuka <i>management</i> subsidi alat	62
38	Antarmuka <i>top-up</i> saldo subsidi	62
39	Potongan code proses subsidi	63
40	<i>Activity diagram</i> penyewaan alat pertanian	64
41	Antarmuka beranda petani	64
42	Antarmuka <i>checkout</i> penyewaan alat	65
43	Hasil <i>script</i> simulasi transaksi	65
44	<i>Activity diagram</i> pengembalian dan penyelesaian dana	66
45	Pseudocode yang disederhanakan dari alur pengembalian alat pada ServiceCategoryV2	67

46	Hasil <i>script</i> simulasi <i>settle</i> and <i>check</i>	68
47	<i>Activity</i> diagram melihat transaksi penyewaan	69
48	Antarmuka <i>monitoring</i> transaksi administrator	69
49	Antarmuka riwayat transaksi penyedia	70
50	Antarmuka riwayat transaksi petani	70
51	Hasil <i>Script</i> History Penyewaan <i>On-chain</i>	71





DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Definisi field pada struktur rules engine	97
2	Lampiran 2 Referensi opcode RPN pada ServiceCategoryV2	99
3	Lampiran 3 Hasil decode konfigurasi rules engine yang terdeploy	101