ARSITEKTUR BLOCKCHAIN UNTUK MENINGKATKAN INTEGRITAS DAN AUDITABILITAS REKAPITULASI HASIL PEMILU

M. HADI PRANOWO

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

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul "Arsitektur Blockchain untuk Meningkatkan Integritas dan Auditabilitas Rekapitulasi Hasil Pemilu" adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari 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, Agustus 2026

M. Hadi Pranowo
M0503241069

RINGKASAN

M. HADI PRANOWO. Arsitektur Blockchain untuk Meningkatkan Integritas dan Auditabilitas Rekapitulasi Hasil Pemilu. Dibimbing oleh YANI NURHADRYANI dan IRMAN HERMADI.

Rekapitulasi hasil Pemilu menuntut akurasi penghitungan, akuntabilitas penyelenggara, serta penerimaan publik sebagai prasyarat terwujudnya legitimasi demokratis dalam penyelenggaraan pemilihan umum. Meskipun penetapan hasil resmi tetap dilakukan melalui rekapitulasi manual berjenjang, Komisi Pemilihan Umum (KPU) telah memanfaatkan teknologi informasi sejak Pemilu 1999, yang kemudian berkembang melalui penerapan Situng dan Sirekap. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa rekapitulasi elektronik masih menghadapi kendala berupa terbatasnya keterlibatan digital saksi dan pengawas, lemahnya jejak audit perubahan data, serta anomali yang memicu ketidaksesuaian antara dokumen fisik dan data digital. Kondisi tersebut berpotensi memengaruhi persepsi terhadap keandalan sistem, kepercayaan publik, dan legitimasi hasil Pemilu.

Penelitian ini menggunakan *Design Science Research* (DSR) untuk menghasilkan model konseptual arsitektur rekapitulasi hasil Pemilu berbasis Blockchain. Penelitian dibatasi pada Pemilu 2024, khususnya Pemilihan Presiden dan Wakil Presiden sebagai representasi rekapitulasi hasil Pemilu berjenjang. Identifikasi masalah dilakukan melalui kajian regulasi, kajian literatur, dan *Focus Group Discussion* (FGD) yang melibatkan KPU Kota Bogor, Bawaslu Kota Bogor, perwakilan saksi peserta Pemilu dari unsur partai politik, dan Perkumpulan untuk Pemilu dan Demokrasi (Perludem). Hasil analisis ketiga sumber tersebut digunakan sebagai dasar perumusan kesenjangan, solusi, dan kebutuhan rancangan pada aspek keterlibatan pemangku kepentingan, integritas data, dan auditabilitas.

Hasil utama penelitian berupa model konseptual arsitektur rekapitulasi hasil Pemilu berbasis Blockchain. Proses rekapitulasi dimodelkan menggunakan *Business Process Model and Notation* (BPMN) untuk merepresentasikan alur pencatatan hasil, verifikasi, koreksi, penyampaian keberatan, dan pengawasan pada setiap jenjang, sekaligus menentukan aktivitas yang dicatat sebagai transaksi Blockchain. Model tersebut kemudian diterjemahkan ke dalam empat lapisan arsitektur. Pertama, lapisan aplikasi pengguna menyediakan antarmuka sesuai peran dan kewenangan setiap aktor. Kedua, *application gateway* mengelola autentikasi, otorisasi, pertukaran data, dan penerusan transaksi ke jaringan. Ketiga, jaringan Blockchain berbasis Hyperledger Fabric menjalankan validasi berbasis aturan, proses *endorsement*, pengurutan, dan pencatatan transaksi pada *ledger*. Keempat, lapisan penyimpanan mengelola dokumen pendukung secara *off-chain* serta menjaga keterkaitannya dengan data rekapitulasi pada *ledger*.

Keterlibatan pemangku kepentingan diperkuat melalui penyediaan akses berbasis kewenangan bagi KPU, Bawaslu, dan saksi peserta Pemilu dalam jaringan konsorsium. Penyelenggara tetap berwenang mencatat, mengoreksi, dan memfinalisasi hasil sesuai jenjangnya, sedangkan saksi dapat mencatat persetujuan, penolakan, atau keberatan dan pengawas dapat menyampaikan catatan pengawasan. Setiap tindakan ditautkan dengan data hasil terkait sehingga keterlibatan pemangku kepentingan tidak hanya berlangsung dalam forum manual, tetapi juga

terdokumentasi dalam proses digital tanpa mengubah kewenangan formal masing-masing aktor.

Auditabilitas dibangun melalui keterkaitan data hasil, dokumen pendukung, respons saksi, catatan pengawasan, keberatan, dan riwayat koreksi pada *ledger*. Setiap koreksi dirancang sebagai transaksi baru tanpa menghapus versi sebelumnya sehingga perubahan dapat ditelusuri berdasarkan aktor, waktu, alasan, status proses, dan dokumen pendukung. Dokumen hasil dan bukti pendukung disimpan melalui *InterPlanetary File System* (IPFS), sedangkan *Content Identifier* (CID) berbasis *hash* dicatat pada *ledger* untuk menjaga keterverifikasian hubungan dokumen *off-chain* dengan data rekapitulasi *on-chain*.

Integritas data diperkuat melalui lima modul *rule-based chaincode*, yaitu validasi kewenangan aktor, pembatasan perubahan berdasarkan jadwal pleno, pemeriksaan konsistensi aritmetika TPS, penautan hasil dengan dokumen pendukung, serta pencatatan koreksi sebagai versi baru yang dapat ditelusuri. Kelima modul tersebut dirancang sebagai lapisan validasi prosedural untuk membatasi transaksi yang tidak memenuhi prasyarat kewenangan, waktu, dokumen, konsistensi data, dan status proses yang berlaku.

Artefak penelitian dievaluasi melalui analisis kesesuaian konseptual yang mencakup pemetaan kebutuhan terhadap artefak rancangan dan pemetaan kesesuaian regulatif rumusan solusi. Analisis ini tidak dimaksudkan sebagai pengujian teknis atau validasi prototipe, tetapi untuk menelaah keterhubungan antara masalah, rumusan solusi, kebutuhan, artefak, dan batasan regulatif. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa komponen rancangan telah merepresentasikan kebutuhan pada aspek keterlibatan pemangku kepentingan, integritas data, dan auditabilitas. Rumusan solusi juga tidak menunjukkan pertentangan konseptual dengan kewenangan aktor, dokumen, dan prosedur rekapitulasi hasil Pemilu secara berjenjang.

Penelitian ini dibatasi pada perancangan dan evaluasi model konseptual, tanpa mencakup pembangunan prototipe, implementasi sistem, atau pengujian teknis jaringan. Penelitian ini dapat menjadi referensi awal bagi pengembangan kajian rekapitulasi hasil Pemilu berbasis Blockchain.

Kata Kunci: *chaincode*, *consortium* blockchain, hyperledger fabric, *interplanetary file system* (IPFS), pemilu.

SUMMARY

M. HADI PRANOWO. Blockchain Architecture for Enhancing the Integrity and Auditability of Election Result Recapitulation. Supervised by YANI NURHADRYANI and IRMAN HERMADI.

Election result recapitulation requires accuracy in vote counting, accountability of election administrators, and public acceptance as prerequisites for democratic legitimacy. Although official results continue to be determined through tiered manual recapitulation, the General Elections Commission (KPU) has utilized information technology since the 1999 Election, which subsequently evolved through the implementation of Situng and Sirekap. Previous studies indicate that electronic recapitulation still faces limitations, including restricted digital involvement of witnesses and supervisors, weak audit trails for data changes, and anomalies that cause discrepancies between physical documents and digital data. These conditions may affect perceptions of system reliability, public trust, and the legitimacy of election results.

This study employs Design Science Research (DSR) to develop a conceptual architecture model for blockchain-based election result recapitulation. The study is limited to the 2024 Election, particularly the Presidential and Vice-Presidential Election, as a representation of the tiered election result recapitulation process. Problem identification was conducted through a regulatory review, a literature review, and a Focus Group Discussion (FGD) involving the Bogor City KPU, the Bogor City Election Supervisory Agency (Bawaslu), representatives of election-participant witnesses from political parties, and the Association for Elections and Democracy (Perludem). Findings from the three sources were used as the basis for formulating gaps, solutions, and design requirements concerning stakeholder involvement, data integrity, and auditability.

The main outcome of this study is a conceptual architecture model for blockchain-based election result recapitulation. The recapitulation process was modeled using Business Process Model and Notation (BPMN) to represent result recording, verification, correction, objection submission, and supervision at each level, while also identifying activities to be recorded as blockchain transactions. The model was then translated into four architectural layers. First, the user application layer provides interfaces according to the roles and authority of each actor. Second, the application gateway manages authentication, authorization, data exchange, and transaction forwarding to the network. Third, the Hyperledger Fabric-based blockchain network performs rule-based validation, endorsement, ordering, and transaction recording on the ledger. Fourth, the storage layer manages supporting documents off-chain while maintaining their linkage to the recapitulation data recorded on the ledger.

Stakeholder involvement is strengthened through authority-based access for the KPU, Bawaslu, and election-participant witnesses within a consortium network. Election administrators retain the authority to record, correct, and finalize results at their respective levels, while witnesses can record approval, rejection, or objections, and supervisors can submit supervisory notes. Each action is linked to the relevant result data, allowing stakeholder involvement to be documented not only in manual

forums but also in digital processes without altering the formal authority of each actor.

Auditability is established through the linkage among result data, supporting documents, witness responses, supervisory notes, objections, and correction histories recorded on the ledger. Each correction is designed as a new transaction without deleting the previous version, allowing changes to be traced by actor, time, reason, process status, and supporting document. Result documents and supporting evidence are stored through the InterPlanetary File System (IPFS), while a hash-based Content Identifier (CID) is recorded on the ledger to maintain the verifiability of the relationship between off-chain documents and on-chain recapitulation data.

Data integrity is strengthened through five rule-based chaincode modules: actor authorization validation, restriction of changes based on plenary schedules, polling-station arithmetic consistency checks, linkage of results with supporting documents, and the recording of corrections as traceable new versions. These modules are designed as a procedural validation layer to restrict transactions that do not satisfy the applicable prerequisites concerning authority, timing, documentation, data consistency, and process status.

The research artifact was evaluated through a conceptual alignment analysis comprising the mapping of requirements to the designed artifacts and the mapping of the regulatory alignment of the proposed solutions. This analysis was not intended as technical testing or prototype validation, but rather to examine the relationships among the identified problems, proposed solutions, requirements, artifacts, and regulatory constraints. The mapping results indicate that the design components represent the requirements concerning stakeholder involvement, data integrity, and auditability. The proposed solutions also show no conceptual conflict with the authority of the actors, the relevant documents, or the procedures governing tiered election result recapitulation.

This study is limited to the design and evaluation of a conceptual model and does not include prototype development, system implementation, or technical network testing. The study may serve as an initial reference for further research on blockchain-based election result recapitulation.

Keywords: chaincode, consortium blockchain, election, hyperledger fabric, interplanetary file system (IPFS).

ARSITEKTUR BLOCKCHAIN UNTUK MENINGKATKAN INTEGRITAS DAN AUDITABILITAS REKAPITULASI HASIL PEMILU

M. HADI PRANOWO

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

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

Tim Penguji pada Ujian Tesis:
Rina Trisminingsih, S.Kom., M.T., Ph.D.

Judul Tesis : Arsitektur Blockchain untuk Meningkatkan Integritas dan Auditabilitas Rekapitulasi Hasil Pemilu
Nama : M. Hadi Pranowo
NIM : M0503241069

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Yani Nurhadryani, S.Si., M.T., Ph.D.

Pembimbing 2:
Irman Hermadi, S.Kom., M.S., Ph.D.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Toto Haryanto, S.Kom., M.Si.
NIP 198211172014041001

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika dan Informatika:
Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom.
NIP. 196607021993021001

Tanggal Ujian:
15 Juli 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subḥānahu wa Ta'ālā atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Yani Nurhadryani, S.Si., M.T., Ph.D. dan Bapak Irman Hermadi, S.Kom., M.S., Ph.D., selaku Ketua dan Anggota Komisi Pembimbing atas arahan, masukan, dan pendampingan yang diberikan secara konsisten selama proses penelitian dan penulisan tesis.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Bapak Dr. Toto Haryanto, S.Kom., M.Si. selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu Komputer, Ibu Rina Trisminingsih, S.Kom., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji, serta seluruh dosen dan tenaga kependidikan di lingkungan Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika Institut Pertanian Bogor atas dukungan akademik dan administratif selama masa studi. Ucapan terima kasih turut disampaikan kepada para narasumber *Focus Group Discussion* (FGD), yaitu komisioner KPU Kota Bogor, Bawaslu Kota Bogor, Ketua DPRD Kota Bogor, dan Direktur Eksekutif Perludem, atas sumbangsih saran, masukan substantif, dan perspektif kelembagaan yang memperkaya proses penelitian ini.

Terima kasih turut disampaikan kepada Kemdiktisaintek atas dukungan pendanaan hibah melalui skema Penelitian Tesis Magister BIMA yang berkontribusi dalam pelaksanaan dan penyelesaian tesis ini.

Penghargaan khusus penulis tujukan kepada pimpinan penulis di Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia (DPR RI) dan di Direktorat Jenderal Perumahan Perdesaan, Kementerian Perumahan dan Kawasan Permukiman, atas dukungan studi dan fasilitasi yang memungkinkan penelitian ini dapat dilaksanakan dan diselesaikan tepat waktu.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada keluarga tercinta, yaitu orang tua, istri, dan ananda atas dukungan dan pengertian yang diberikan selama masa studi. Secara khusus, penulis berterima kasih kepada adik-adik yang telah menjadi rekan diskusi dalam penyelesaian penelitian ini.

Semoga karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat, dapat dipertanggungjawabkan secara akademik dan etis, serta membawa keberkahan bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa mendatang.

Bogor, Agustus 2026

M. Hadi Pranowo

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR LAMPIRAN