

HALAMAN PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR KODE	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiii
INTISARI.....	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
1.6 Sistematika Penulisan.....	8
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori	9
2.1 Tinjauan Pustaka	9
2.2 Dasar Teori	13
2.2.1 Pembuatan Sertifikat Tanah dan Balik Nama Sertifikat Tanah.....	13
2.2.2 <i>Blockchain</i>	14
2.2.3 Ethereum	16
2.2.4 <i>Smart Contract</i>	17
2.2.4.1 Non-Fungible Token (NFT)	18
2.2.5 Web3	18
2.2.6 InterPlanetary File System (IPFS).....	19
2.2.7 Solidity	21
2.2.7.1 OpenZeppelin	22
2.2.8 Foundry	22
2.2.9 Golang (Go)	23
2.2.9.1 Go-Chi	24
2.2.9.2 Go-Ethereum (Geth).....	25
2.2.10 PostgreSQL.....	25
2.2.11 Software Development Lifecycle.....	26

2.3	Analisis Perbandingan Metode	27
2.3.1	Perbandingan Metode Pengembangan Aplikasi	27
2.3.2	Perbandingan Platform <i>blockchain</i>	29
2.3.3	Perbandingan Framework Bahasa Pemrograman Pengembangan Aplikasi Offchain	31
BAB III Metode Penelitian.....		34
3.1	Alat dan Bahan Tugas akhir	34
3.1.1	Alat Tugas akhir.....	34
3.1.2	Bahan Tugas akhir	35
3.2	Metode yang Digunakan.....	36
3.2.1	Metode Pengembangan Aplikasi	36
3.2.2	Pengembangan <i>Smart Contract</i>	37
3.2.3	Pengembangan Integrasi Penyimpanan <i>Off-Chain</i>	38
3.2.4	Tokenisasi Sertifikat Tanah	39
3.2.5	Pengembangan Aplikasi <i>Backend Off-chain</i>	40
3.2.6	Pengujian Aplikasi	41
3.2.7	<i>Deployment</i>	42
3.3	Alur Tugas Akhir	43
3.3.1	Studi Literatur	45
3.3.2	Penentuan Metode Pengembangan Aplikasi.....	45
3.3.3	Perancangan Arsitektur Sistem.....	46
3.3.3.1	Arsitektur Sistem TanahKita	46
3.3.3.2	<i>Use Case Diagram</i>	48
3.3.3.3	<i>Activity Diagram</i>	49
3.3.4	Pengembangan <i>Smart Contract</i>	58
3.3.4.1	Penentuan <i>Library</i> dan Variabel.....	58
3.3.4.2	Implementasi Standar ERC-721	60
3.3.4.3	Implementasi <i>Role-Based Access Control</i>	62
3.3.4.4	Penentuan <i>Events</i> dan <i>Errors</i>	63
3.3.4.5	Implementasi Pengajuan Sertifikat.....	66
3.3.4.6	Implementasi Balik Nama Sertifikat	69
3.3.4.7	Implementasi <i>Getter Functions</i>	74
3.3.4.8	Pengembangan <i>Smart Contract</i> Pendukung (UserService)	78
3.3.5	Pengembangan <i>Backend Off-chain</i>	80
3.3.5.1	Implementasi <i>Event Handler</i>	81
3.3.5.2	Integrasi IPFS	82
3.3.5.3	Setup dan Migrasi Basis Data PostgreSQL.....	88
3.3.5.4	Implementasi REST API	90

3.3.6	<i>Unit Testing Smart Contract dan Evaluasi Performa Ethereum</i>	
	<i>Local Node</i>	92
3.3.7	Pengujian API <i>Backend Off-chain</i> dan Evaluasi Performa <i>Backend Off-chain</i>	93
3.3.8	<i>Deployment Aplikasi</i>	93
BAB IV	Hasil dan Pembahasan.....	95
4.1	Hasil Pengembangan <i>Smart Contract</i>	95
4.2	Hasil Pengembangan <i>Backend Off-chain</i>	97
4.3	Hasil Pengujian <i>Smart Contract</i>	100
4.4	Hasil Pengujian <i>Backend Off-chain</i>	102
4.5	Evaluasi dan Analisis Performa	106
4.5.1	Evaluasi dan Analisis Performa <i>Ethereum Local Node (Anvil)</i>	106
4.5.2	Evaluasi dan Analisis Performa <i>Backend Off-chain</i>	108
4.6	Analisis Hasil Pengembangan	111
4.7	Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu	113
BAB V	Kesimpulan dan Saran.....	115
5.1	Kesimpulan.....	115
5.2	Saran.....	116
DAFTAR PUSTAKA	118
L.1	Transkrip Hasil Wawancara	L-124
L.1.1	Hasil Wawancara dengan Notaris	L-124
L.2	<i>Source Code</i>	L-126
L.2.1	<i>Source Code Smart Contract TanahKita</i>	L-126
L.2.2	<i>Source Code Smart Contract UserService</i>	L-139
L.2.3	<i>Source Code Unit Test Smart Contract</i>	L-140

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Sistem Pendaftaran Tanah Berbasis <i>Blockchain</i>	12
Tabel 2.2	Perbandingan Metode SDLC: Agile, Waterfall, dan V-Model.	27
Tabel 2.3	Perbandingan Platform <i>blockchain</i> : Ethereum, Hyperledger Fabric, dan Corda.	29
Tabel 2.4	Perbandingan Framework Bahasa Pemrograman Pengembangan Aplikasi Offchain.	32
Tabel 4.1	<i>Gas Report</i> Untuk <i>Smart Contract</i> TanahKita	96
Tabel 4.2	<i>Gas Report</i> Untuk <i>Smart Contract</i> UserService	97
Tabel 4.3	Hasil Pengujian <i>Backend Off-chain</i> Menggunakan Metodologi <i>Black-box Testing</i>	102
Tabel 4.4	Ringkasan Hasil Pengujian Performa <i>Backend Off-chain</i>	110
Tabel 4.5	Perbandingan Fitur Penelitian Sistem Sertifikat Tanah Berbasis <i>Blockchain</i> untuk Indonesia.....	113

DAFTAR KODE

3.1	Inisiasi <i>Library Smart Contract</i> TanahKita	58
3.2	Inisiasi Variabel <i>Smart Contract</i> TanahKita	59
3.3	<i>Constructor</i> pada <i>Smart Contract</i> TanahKita	60
3.4	Implementasi Fungsi <i>tokenURI</i> pada <i>Smart Contract</i> TanahKita	61
3.5	Implementasi Fungsi dan <i>Modifier</i> untuk Implementasi RBAC pada <i>Smart Contract</i> TanahKita	63
3.6	<i>Events</i> yang Digunakan pada <i>Smart Contract</i> TanahKita	64
3.7	<i>Errors</i> yang Digunakan pada <i>Smart Contract</i> TanahKita	65
3.8	Fungsi <i>requestCertificate</i>	66
3.9	Fungsi <i>approveCertificateByBPN</i>	67
3.10	Fungsi <i>rejectCertificate</i>	68
3.11	Fungsi <i>requestTransfer</i>	69
3.12	Fungsi <i>validateNotaryTransfer</i>	70
3.13	Fungsi <i>approveBPNTransfer</i>	71
3.14	Fungsi <i>rejectTransferRequest</i>	73
3.15	Fungsi <i>getCertificate</i>	75
3.16	Fungsi <i>getUserCertificates</i>	76
3.17	Fungsi <i>getTransferRequest</i>	76
3.18	Fungsi <i>getCertificateHistory</i>	77
3.19	Variabel dan <i>Custom Errors Smart Contract</i> UserService	78
3.20	Fungsi <i>register</i>	79
3.21	<i>Getter Functions</i>	80
3.22	<i>Docker Compose</i> Basis Data PostgreSQL	88
3.23	Fungsi yang Digunakan untuk Migrasi Basis Data	89
3.24	Implementasi REST API	90
L.1	<i>Source Code Smart Contract</i> TanahKita	L-126
L.2	<i>Source Code Smart Contract</i> UserService	L-139
L.3	<i>Source Code Unit Test Smart Contract</i> TanahKita	L-140
L.4	<i>Source Code Unit Test Smart Contract</i> UserService	L-162

Gambar 2.1	Struktur <i>Blockchain</i>	15
Gambar 2.2	Gambaran umum konsep IPFS	20
Gambar 2.3	Proses kompilasi dan eksekusi kode Solidity pada EVM	21
Gambar 3.1	Tahapan Alur Kerja Penelitian Tugas Akhir	44
Gambar 3.2	Arsitektur Sistem TanahKita	47
Gambar 3.3	<i>Use Case Diagram</i> Sistem <i>Backend</i> Aplikasi	49
Gambar 3.4	<i>Activity Diagram</i> Untuk Registrasi Akun	50
Gambar 3.5	<i>Activity Diagram</i> Untuk Pengajuan Sertifikat	51
Gambar 3.6	<i>Activity Diagram</i> Untuk Transfer Sertifikat	53
Gambar 3.7	<i>Activity Diagram</i> Untuk Memberi <i>Role</i>	54
Gambar 3.8	<i>Activity Diagram</i> Untuk Mencabut <i>Role</i>	55
Gambar 3.9	<i>Activity Diagram</i> Untuk Validasi Sertifikat	56
Gambar 3.10	<i>Activity Diagram</i> Untuk Melihat Riwayat Sertifikat	57
Gambar 3.11	<i>Activity Diagram</i> Untuk Detail Sertifikat	57
Gambar 4.1	Contoh Respons API <i>Endpoint /history</i>	99
Gambar 4.2	Demonstrasi API <i>Call IPFS Upload dan Download</i>	100
Gambar 4.3	Hasil <i>Test Coverage</i> untuk <i>Smart Contract UserService</i> dan TanahKita	101
Gambar 4.4	Evaluasi Performa <i>Ethereum Local Node (Anvil)</i> Menggunakan Chainhammer	107
Gambar 4.5	Evaluasi Performa <i>Backend Off-chain</i> TanahKita	109

DAFTAR SINGKATAN

ABI	=	<i>Application Binary Interface</i>
API	=	<i>Application Programming Interface</i>
AWS	=	<i>Amazon Web Services</i>
BPN	=	Badan Pertanahan Nasional
CID	=	<i>Content Identifier</i>
CLI	=	<i>Command Line Interface</i>
CORS	=	<i>Cross-Origin Resource Sharing</i>
CPI	=	<i>Corruption Perceptions Index</i>
CPU	=	<i>Central Processing Unit</i>
CRUD	=	<i>Create, Read, Update, Delete</i>
DAG	=	<i>Directed Acyclic Graph</i>
dApp	=	<i>Decentralized Application</i>
DAO	=	<i>Decentralized Autonomous Organization</i>
DeFi	=	<i>Decentralized Finance</i>
DHT	=	<i>Distributed Hash Table</i>
ERC	=	<i>Ethereum Request for Comment</i>
EVM	=	<i>Ethereum Virtual Machine</i>
IPFS	=	<i>InterPlanetary File System</i>
JSON	=	<i>JavaScript Object Notation</i>
MVC	=	<i>Model-View-Controller</i>
NFT	=	<i>Non-Fungible Token</i>
NIK	=	Nomor Induk Kependudukan
OOP	=	<i>Object-Oriented Programming</i>
PGDG	=	<i>PostgreSQL Global Development Group</i>
PKI	=	<i>Public-Key Infrastructure</i>
PoS	=	<i>Proof of Stake</i>
PoW	=	<i>Proof of Work</i>
PPAT	=	Pejabat Pembuat Akta Tanah
RBAC	=	<i>Role-Based Access Control</i>
REST	=	<i>Representational State Transfer</i>
RPC	=	<i>Remote Procedure Call</i>
SDLC	=	<i>Software Development Lifecycle</i>
SQL	=	<i>Structured Query Language</i>
SVG	=	<i>Scalable Vector Graphics</i>
TPS	=	<i>Transactions Per Second</i>
UML	=	<i>Unified Modeling Language</i>
URL	=	<i>Uniform Resource Locator</i>
UTXO	=	<i>Unspent Transaction Output</i>