

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemilihan Kepala Daerah (Pilkada) merupakan pilar utama dalam sistem demokrasi tingkat lokal. Namun, sistem pemilihan tradisional maupun proses rekapitulasi suara manual secara inheren masih dihadapkan pada masalah kurangnya transparansi, tingginya risiko manipulasi, dan rentannya terhadap *human error* [1], [2]. Berbagai bentuk kecurangan, mulai dari pemalsuan identitas hingga pengisian surat suara secara ilegal, kerap menjadi ancaman nyata pada sistem konvensional [3]. Selain celah keamanan tersebut, proses tradisional juga memiliki kelemahan berupa tingginya biaya operasional dan waktu penghitungan yang lambat, yang pada akhirnya memicu rendahnya kepercayaan publik terhadap legitimasi hasil pemilu [4].

Dampak fatal dari lambatnya waktu rekapitulasi manual ini tercatat jelas pada tragedi penyelenggaraan Pemilu Serentak tahun 2019 di Indonesia. Akumulasi data pasca-pemilu menunjukkan bahwa total petugas Kelompok Penyelenggara Pemungutan Suara (KPPS) yang meninggal dunia mencapai 894 orang dan petugas yang jatuh sakit menyentuh angka 5.175 orang [5]. Sementara itu, hasil investigasi Kementerian Kesehatan di 28 provinsi mencatatkan angka korban sebanyak 527 petugas meninggal dunia dan 11.239 orang menderita sakit [6]. Penyebab utamanya adalah beban kerja ekstrem (*overload*) fisik dan mental akibat proses perhitungan suara serta penyalinan dokumen administrasi (Formulir C1) yang dilakukan secara

manual hingga larut malam. Hal ini memicu kelelahan fisik ekstrem (*extreme fatigue*) yang berdampak sangat fatal [7], [5]. Merespons tragedi kemanusiaan tersebut, Komisi Pemilihan Umum (KPU) menerapkan regulasi preventif yang membatasi jumlah Daftar Pemilih Tetap (DPT) menjadi maksimal 500 pemilih per Tempat Pemungutan Suara (TPS) [5]. Pembatasan kuota ini dirancang khusus untuk memangkas durasi proses rekapitulasi dan mencegah terulangnya kejadian luar biasa akibat beban rekapitulasi manual di tingkat TPS [8].

Sebagai upaya digitalisasi, *electronic voting* (*e-voting*) berbasis basis data tersentralisasi telah banyak dikembangkan. Akan tetapi, sistem yang sepenuhnya tersentralisasi memiliki kelemahan krusial berupa adanya titik kegagalan tunggal (*single point of failure*) pada otoritas dan *database* pusat, menjadikannya sangat rentan terhadap infeksi *malware* maupun serangan siber yang dapat memodifikasi hasil suara pemilih tanpa jejak [9]. Di sisi lain, adopsi teknologi *blockchain* secara penuh (di mana setiap suara dicatat langsung *on-chain*) juga dihadapkan pada kendala arsitektural yang serius. Jaringan *blockchain* publik kerap mengalami masalah skalabilitas, lonjakan latensi waktu transaksi (*Transactions Per Second* / TPS lambat), dan tingginya biaya transaksi (*gas fee*) saat partisipasi pemilih membesar, sehingga dinilai kurang praktis untuk eksekusi pemilihan yang membutuhkan kinerja tinggi dalam waktu singkat [10], [11].

Untuk menjembatani kebutuhan antara kecepatan pemrosesan dan jaminan keamanan data, diperlukan sebuah arsitektur hibrida (*hybrid*) yang memisahkan proses transaksional dan proses penjangkaran (*anchoring*) data. Pada sistem *e-voting* Pilkada Kota Tegal, pemungutan suara didesain beroperasi secara lokal pada

masing-masing TPS menggunakan basis data lokal terenkripsi (*SQLite*). Pendekatan *local-first* ini menjamin kecepatan eksekusi dan kerahasiaan data suara tanpa hambatan latensi jaringan. Selanjutnya, teknologi *blockchain* difungsikan secara eksklusif sebagai buku besar terdistribusi (*distributed ledger*) untuk menjangkar (*anchoring*) dokumen C.Hasil (rekapitulasi akhir TPS) [12]. Fitur desentralisasi dan *immutable* yang melekat pada teknologi *blockchain* menawarkan solusi menjanjikan untuk mengatasi kerentanan pada sistem pemilu tradisional maupun e-voting tersentralisasi [10]. Dengan mengimplementasikan *blockchain* khusus untuk penjangkaran data, setiap rekapitulasi suara dapat dicatat secara permanen dan transparan tanpa memungkinkan modifikasi yang tidak sah [13]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membangun prototipe "Rancang Bangun Sistem *E-Voting* Sebagai Alternatif Pilkada di DPT Kecil (Kota Tegal)" yang mampu menjamin integritas rekapitulasi dari tingkat TPS hingga tingkat kota secara independen, aman, dan efisien.

Penggunaan kontrak pintar (*smart contract*) dalam arsitektur ini memegang peran krusial dengan mengeksekusi secara otomatis dan mandiri proses tabulasi hasil akhir tanpa campur tangan pihak ketiga [14], [15]. Setiap hasil akhir TPS akan diringkas menggunakan nilai *hash* (SHA-256) dan disegel secara kriptografi di dalam *blockchain*. Hal ini memastikan bahwa data bersifat kekal (*immutable*) serta mencegah pemungutan suara ganda (*double voting*) [16]. Desain terdesentralisasi dan tahan manipulasi (*tamper-proof*) ini memastikan bahwa tidak ada otoritas terpusat yang dapat memengaruhi proses rekapitulasi [16].

Fitur desentralisasi dan sifat kekekalan (*immutability*) yang melekat pada teknologi *blockchain* menawarkan solusi menjanjikan untuk mengatasi kerentanan pada sistem pemilu tradisional maupun *e-voting* tersentralisasi [10]. Dengan mengimplementasikan *blockchain* khusus untuk penjangkaran data, setiap rekapitulasi suara dapat dicatat secara permanen dan transparan tanpa memungkinkan modifikasi yang tidak sah [13].

Oleh karena itu, diperlukan sebuah alternatif teknologi yang mampu menyeimbangkan antara kecepatan pemrosesan data dan keamanan tingkat tinggi tanpa membebani finansial daerah. Penelitian ini hadir untuk mengatasi batasan tersebut dengan merancang sistem *e-voting* berarsitektur *hybrid*. Melalui pendekatan *local-first* menggunakan basis data *SQLite*, proses pemungutan dan perhitungan suara di tingkat Tempat Pemungutan Suara (TPS) dapat tereksekusi dengan sangat cepat, efisien, dan terbebas dari beban biaya transaksi (*gas fee*) pada setiap penambahan data pemilih. Sementara itu, integritas hasil akhir tetap terjaga secara absolut dengan memanfaatkan teknologi *blockchain* hanya pada tahap akhir rekapitulasi untuk menjangkarkan (*anchoring*) formulir C.Hasil. Pendekatan ini diharapkan mampu menjadi solusi aplikatif yang aman, efisien, dan ekonomis untuk diterapkan pada skala Daftar Pemilih Tetap (DPT) kecil, dengan Kota Tegal sebagai studi kasus utama.

1.2 Tujuan dan Manfaat

Pelaksanaan penelitian ini memiliki arah capaian yang spesifik serta diharapkan mampu memberikan kontribusi positif bagi berbagai pihak terkait. Rincian

mengenai tujuan utama dari perancangan sistem *e-voting* ini beserta manfaat implementasinya akan diuraikan sebagai berikut:

1.2.1 Tujuan

Adapun tujuan spesifik yang ingin dicapai melalui pelaksanaan penelitian rancang bangun sistem *e-voting* ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun prototipe aplikasi *e-voting* berarsitektur *hybrid* sebagai alternatif pelaksanaan Pemilihan Kepala Daerah (Pilkada) pada skala Daftar Pemilih Tetap (DPT) kecil di Kota Tegal.
2. Mengimplementasikan pendekatan *local-first* menggunakan basis data lokal (*SQLite*) agar proses pemungutan dan penghitungan suara di tingkat Tempat Pemungutan Suara (TPS) dapat berjalan cepat, mandiri, dan efisien tanpa bergantung langsung pada jaringan *blockchain*.
3. Mengimplementasikan teknologi *blockchain* sebagai mekanisme penjangkaran (*anchoring*) data guna mengunci hasil rekapitulasi suara akhir secara kriptografis, sehingga keaslian data terjamin dan risiko manipulasi maupun pemungutan suara ganda (*double voting*) dapat dicegah.

1.2.2 Manfaat

Adapun manfaat dari pengembangan sistem *e-voting* ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Masyarakat (Pemilih) Sistem ini memberikan jaminan bahwa suara yang telah diberikan akan tersimpan dengan aman dan rahasia. Selain itu, masyarakat dapat melihat hasil pemilihan dengan lebih cepat dan transparan, sehingga meningkatkan kepercayaan publik terhadap proses demokrasi di tingkat lokal.
2. Bagi Penyelenggara Pemilu (KPU dan KPPS) Untuk KPPS sistem ini mempermudah pekerjaan petugas di lapangan melalui tampilan dasbor yang otomatis terkunci untuk TPS masing-masing. Sistem ini juga mencegah risiko kesalahan hitung secara manual (salah rekap) karena penghitungan dilakukan secara otomatis oleh sistem. Untuk KPU, mempermudah pemantauan data secara menyeluruh melalui fitur pencarian global, sehingga KPU dapat melacak status pengiriman hasil suara dari seluruh TPS secara langsung (*real-time*).
3. Bagi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Peneliti) Penelitian ini dapat menjadi bukti nyata penerapan gabungan antara teknologi penyimpanan lokal (*local-first*) dan *blockchain*. Sistem ini memberikan jalan keluar yang nyata untuk mengatasi masalah tingginya biaya transaksi (*gas fee*) dan lambatnya proses pada sistem *e-voting* yang sepenuhnya menggunakan *blockchain*, menjadikannya sangat cocok diterapkan pada wilayah dengan Daftar Pemilih Tetap (DPT) berskala kecil.

1.3 Tinjauan Pustaka

Penelitian ini mengacu pada beberapa studi terdahulu sebagai bahan pembandingan dan dasar dalam pengembangan sistem.

Pemanfaatan jaringan Ethereum dan perangkat lunak Metamask dalam merancang sistem pemungutan suara elektronik (*e-voting*) berkonsep buku besar terdistribusi (*distributed ledger*) telah terbukti mampu mengatasi krisis kepercayaan masyarakat karena meniadakan otoritas terpusat. Walaupun berhasil memberikan kejelasan dan transparansi, pendekatan ini memiliki kelemahan struktural di mana data transaksi suara (*vote transaction*) yang dimasukkan ke dalam sistem masih rentan untuk dibaca atau dibongkar isinya melalui teknik rekayasa balik (*reverse engineering*) [1].

Terkait dengan pengawasan anomali data, implementasi metode pembelajaran mesin tanpa pengawasan (*unsupervised machine learning*) terbukti efektif dalam mendeteksi perubahan data yang mencurigakan pada Daftar Pemilih melalui pemodelan statistik [17]. Pendekatan pemantauan serupa di tingkat Tempat Pemungutan Suara (TPS) juga dilakukan menggunakan algoritma pengelompokan berbasis kepadatan (*density-based clustering*) untuk membandingkan pola hasil suara dengan komposisi demografi [18].

Pada aspek efisiensi biaya dalam jaringan *blockchain*, pengembangan purwarupa aplikasi terdesentralisasi (*dApp*) untuk pemilu menggunakan jaringan Polygon terbukti mampu memberikan token digital tak tergantikan (*Non-Fungible Token/NFT*) sebagai bukti suara sah dengan biaya transaksi (*gas fee*) yang sangat murah jika dibandingkan dengan *Ethereum*. Akan tetapi, adopsi teknologi

blockchain murni pada skala pemerintahan ini disadari masih membutuhkan pengembangan prasarana yang jauh lebih besar agar siap digunakan oleh masyarakat luas [11].

Lebih lanjut, untuk mengatasi masalah kecepatan transaksi, arsitektur sistem *e-voting* mutakhir berbasis kontrak pintar (*smart contract*) telah berhasil digabungkan dengan metode persetujuan khusus (*Prioritized Delegated Proof-of-Stake*) dan teknik pemecahan data (*sharding*). Sistem ini mampu memproses ribuan suara dalam waktu singkat tanpa adanya duplikasi. Meski sangat aman dan terukur, metode ini secara signifikan meningkatkan kerumitan perhitungan komputer (*computational complexity*) dan implementasinya masih berada pada tahap awal pengujian laboratorium [16].

Berdasarkan banyaknya batasan yang ada pada penelitian sebelumnya termasuk masalah privasi data, beban infrastruktur yang tinggi, serta kompleksitas komputasi pada sistem *blockchain* yang sepenuhnya murni dibutuhkan suatu metode baru. Dengan demikian, studi ini menawarkan desain hibrida yang menyatukan cepatnya basis data lokal (*SQLite*) di sisi peladen dengan keamanan penjangkaran *blockchain* di tahap akhir, sebagai solusi yang lebih baik dan praktis untuk diterapkan pada DPT kecil.

Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengisi celah (*gap*) tersebut dengan mengembangkan aplikasi "Rancang Bangun Sistem *E-Voting* Sebagai Alternatif Pilkada di DPT Kecil (Kota Tegal)". Sistem ini menawarkan pendekatan gabungan yang unik: proses pemungutan suara tidak dikirim satu per satu ke jaringan publik, melainkan diolah secara super cepat di dalam basis data lokal (*local-first*) di setiap

TPS menggunakan *SQLite*. Setelah selesai, teknologi *blockchain* hanya dimanfaatkan di tahap akhir sebagai jangkar pengaman (*anchoring*) dokumen hasil akhir (C.Hasil) secara kolektif. Pendekatan ini memastikan sistem berjalan sangat cepat dan murah tanpa mengurangi jaminan keamanan bahwa data hasil pemilihan tidak dapat dimanipulasi oleh pihak mana pun.

Berikut adalah tabel perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penelitian ini:

Tabel 1. 1 Tabel Gap Penelitian

No	Tahun	Gap Penelitian	
		Penelitian Terdahulu	Penelitian Saat Ini
1	2020	Pada penelitian [1] menghasilkan sistem <i>e-voting</i> transparan menggunakan jaringan <i>Ethereum</i> , namun data transaksi suara secara individu masih rentan terbaca melalui teknik rekayasa balik (<i>reverse engineering</i>).	Sedangkan pada penelitian ini menawarkan solusi di mana suara pemilih tidak dikirimkan ke <i>blockchain</i> secara individu melainkan diamankan di dalam basis data lokal terlebih dahulu, dan <i>blockchain</i> murni difungsikan untuk mengunci (<i>anchoring</i>) data agregat (rekapitulasi akhir).
2	2021	[17] mengusulkan pendekatan <i>machine learning</i> yang efektif mendeteksi anomali pada Daftar	Sedangkan pada penelitian ini menghasilkan mekanisme pencegahan manipulasi

No	Tahun	Gap Penelitian	
		Penelitian Terdahulu	Penelitian Saat Ini
		Pemilih, namun sistem ini bersifat reaktif dan sulit diuji pada kasus kecurangan saat pemungutan suara berlangsung.	secara preventif menggunakan persetujuan digital (<i>digital signature</i>) dari aktor pengawas (Bawaslu) langsung di dalam sistem.
3	2022	[18] menghasilkan pemodelan statistik yang mampu menemukan anomali hasil pemungutan suara, namun analisis tersebut hanya dapat dilakukan pasca-pemilu (<i>post-election</i>).	Sedangkan pada penelitian ini menghasilkan implementasi kontrak pintar (<i>smart contract</i>) yang secara otomatis memvalidasi dan menolak perhitungan hasil Tempat Pemungutan Suara (TPS) yang terindikasi manipulatif secara waktu nyata (<i>real-time</i>).
4	2023	[11] mengusulkan purwarupa <i>dApp</i> untuk menekan biaya transaksi (<i>gas fee</i>), namun masih membebankan biaya per transaksi (suara) dan sangat	Sedangkan pada penelitian ini menawarkan pendekatan <i>local-first</i> menggunakan <i>SQLite</i> yang mengeliminasi biaya transaksi per suara menjadi nol, karena

No	Tahun	Gap Penelitian	
		Penelitian Terdahulu	Penelitian Saat Ini
		bergantung pada koneksi internet.	pengiriman data ke <i>blockchain</i> hanya dilakukan satu kali pada akhir penutupan TPS.
5	2025	[16] mengusulkan sistem yang mampu memproses pemungutan suara berskala besar, namun memiliki kelemahan berupa tingginya kerumitan komputasi (<i>computational complexity</i>).	Sedangkan pada penelitian ini menghasilkan arsitektur <i>hybrid</i> yang sangat ringan, meniadakan pemungutan suara langsung ke jaringan (<i>on-chain voting</i>), dan berfokus pada efisiensi infrastruktur tingkat lokal skala kota.

1.4 Data Penelitian

Pelaksanaan riset ini ditujukan untuk mencapai hasil yang jelas dan diharapkan dapat memberikan dampak yang baik bagi semua pihak yang terlibat. Penjelasan mengenai target utama dari pengembangan sistem *e-voting* ini serta keuntungan dari penerapannya akan dijelaskan sebagai berikut:

1.4.1 Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan sebagai landasan analisis kelayakan dalam penelitian ini adalah data Rencana Anggaran Biaya (RAB) Kelompok Penyelenggara Pemungutan Suara (KPPS) Kota Tegal pada penyelenggaraan Pilkada Serentak Tahun 2024. Data RAB ini mencakup alokasi anggaran untuk 377 Tempat Pemungutan Suara (TPS). Berdasarkan data tersebut, dilakukan analisis perbandingan proyeksi dampak implementasi sistem *e-voting* berarsitektur *hybrid* dari segi efektivitas dan efisiensi.

1. Data Rencana Anggaran Biaya (RAB) KPU Kota Tegal 2024 Penulis memperoleh dokumen Rencana Anggaran Biaya (RAB) resmi dari KPU Kota Tegal untuk Pilkada Serentak 2024. Berdasarkan data tersebut, tercatat bahwa Kota Tegal memiliki 377 Tempat Pemungutan Suara (TPS). Dokumen ini juga menunjukkan adanya alokasi biaya operasional tradisional, seperti sewa alat penggandaan dokumen sebesar Rp300.000 per TPS dan biaya transportasi pengiriman salinan C.Hasil sebesar Rp100.000 per orang. Data ini memperkuat landasan bahwa penerapan sistem *e-voting* dapat memangkas anggaran logistik tersebut secara nyata.

RAB KPPS Kota Tegal dalam Pilkada Serentak Tahun 2024								
No	Akun	Uraian Kegiatan	Rincian Perhitungan	Vol	Sat	Biaya Satuan	Jumlah perTPS	Jumlah seluruh TPS
1	521219	Pembuatan TPS (Tenda/kursi/meja/sound)	1 PKT	377	PKT	Rp1.200.000	Rp 1.200.000	Rp 452.400.000
2		Sewa alat penggandaan dokumen	1 BH	377	BH	Rp 300.000	Rp 300.000	Rp 113.100.000
3		Kuota (pengerjaan SIREKAP)	1 PKT	377	PKT	Rp 50.000	Rp 50.000	Rp 18.850.000
4		Transpor Pengiriman C Hasil Salinan (ke PPS, PPK, KPU)	1 ORG	377	ORG	Rp 100.000	Rp 100.000	Rp 37.700.000
5		Photobooth	1 PKT	377	PKT	Rp 250.000	Rp 250.000	Rp 94.250.000
6		Sewa Tossa	1 BH	377	BH	Rp 50.000	Rp 50.000	Rp 18.850.000
7		Transpor pengawalan tossa	1 ORG	377	ORG	Rp 50.000	Rp 50.000	Rp 18.850.000
8	521211	Konsumsi (snack @15.000 dan makan @35.000)	9 ORG	377	ORG	Rp 50.000	Rp 450.000	Rp 169.650.000
9		ATK	1 PKT	377	PKT	Rp 50.000	Rp 50.000	Rp 18.850.000
TOTAL							Rp 2.500.000	Rp 942.500.000
No	Akun	Uraian Kegiatan	Rincian	Vol	Sat	Biaya Satuan	Jumlah perTPS	Jumlah seluruh TPS
1		Honor Ketua KPPS	1 ORG	377	ORG	Rp 900.000	Rp 900.000	Rp 339.300.000
2	521213	Honor Anggota KPPS	6 ORG	377	ORG	Rp 850.000	Rp 5.100.000	Rp 1.922.700.000
3		Honor Linmas	2 ORG	377	ORG	Rp 650.000	Rp 1.300.000	Rp 490.100.000
TOTAL							Rp 7.300.000	Rp 2.752.100.000

Gambar 1. 1 (RAB KPU Pilkada 2024 Kota Tegal)

2. Analisis Efektivitas Sistem Implementasi sistem *e-voting* berarsitektur *hybrid* memberikan peningkatan efektivitas yang signifikan pada berbagai aspek penyelenggaraan pemilu di tingkat TPS. Perbandingan efektivitas antara sistem konvensional dan sistem usulan dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1. 2 Perbandingan Efektivitas

Aspek	Sistem Konvensional (Lama)	Sistem Usulan (E-Voting)	Dampak Efektivitas
Media Pemungutan Suara	Pemilih mencoblos surat suara kertas.	Pemilih memilih kandidat melalui <i>device</i> (tablet) di bilik suara.	Proses <i>voting</i> lebih cepat, mengurangi risiko surat suara rusak, salah coblos, atau tidak sah.
Hak Akses Voting	Setelah diverifikasi, pemilih diberi surat suara fisik.	Setelah diverifikasi, sistem membuat <i>voting session</i> sementara untuk bilik suara.	Hak pilih lebih terkontrol dan mencegah pemilih memilih lebih dari satu kali.
Bilik Suara	Menggunakan surat suara fisik di atas meja.	Menggunakan tablet/perangkat yang sudah siap pada halaman <i>voting</i> .	Alur tetap mirip TPS nyata, namun proses pencatatan suara menjadi digital.
Perhitungan Suara	Dihitung manual satu per satu	Dihitung otomatis oleh sistem lokal	Rekapitulasi jauh lebih cepat dan

Aspek	Sistem Konvensional (Lama)	Sistem Usulan (E-Voting)	Dampak Efektivitas
	setelah sesi TPS selesai.	TPS secara seketika.	mengeliminasi kesalahan hitung manual (<i>human error</i>).
Dokumen Hasil TPS	Dokumen fisik dibuat, disalin, dan dikirim secara manual.	Dokumen hasil dicetak dari sistem, ditandatangani basah, lalu di- <i>upload</i> kembali.	Mempertahankan bukti fisik otentik, namun diperkuat dengan ketersediaan bukti digital ganda.
Validasi Dokumen	Mengandalkan dokumen fisik dan pemeriksaan berjenjang secara manual.	Dokumen memiliki <i>QR code/hash</i> , kemudian <i>hash</i> tersebut disimpan ke <i>blockchain</i> .	Dokumen menjadi sangat kebal dan sulit dimanipulasi tanpa terdeteksi (<i>tamper-proof</i>).
Transparansi Publik	Publik harus menunggu hasil rekap berjenjang dan publikasi resmi.	Publik dapat melihat hasil per TPS, status finalisasi, dan <i>hash</i> dokumen.	Tingkat transparansi dan kepercayaan masyarakat terhadap hasil pemilu meningkat drastis.
Audit Proses	Hanya mengandalkan catatan manual dan tumpukan dokumen fisik.	Sistem mencatat <i>audit log</i> komprehensif: verifikasi, <i>voting</i> , rekap, dan <i>upload</i> dokumen.	Jejak audit (<i>audit trail</i>) menjadi lebih lengkap, runut, dan akurat.
Ketergantungan Internet	Penggunaan Sirekap membutuhkan koneksi internet konstan.	Proses <i>voting</i> berjalan <i>local-first</i> , sinkronisasi internet hanya saat finalisasi.	TPS tetap dapat beroperasi secara optimal meskipun koneksi internet tidak stabil.
Finalisasi Hasil	Berdasarkan dokumen fisik dan rekapitulasi berjenjang yang lambat.	<i>Final result</i> , <i>hash</i> dokumen, dan <i>hash audit</i> dikunci permanen ke <i>blockchain</i> .	Hasil final terdesentralisasi dan mustahil diubah secara diam-diam oleh pihak manapun.

3. Dokumen Formulir C.Hasil Tata letak dan struktur data dari formulir C.Hasil asli milik KPU digunakan sebagai cetak biru (*blueprint*) mutlak.

Struktur data ini menjadi landasan utama dalam pembuatan skema basis data lokal (SQLite) di tingkat TPS, sekaligus menjadi variabel yang akan dikunci (*anchoring*) di dalam kontrak pintar (*smart contract*) pada jaringan *blockchain*.

4. Penelitian ini juga mengidentifikasi secara spesifik klasifikasi data yang dibutuhkan oleh masing-masing entitas pengguna *role* agar keseluruhan alur proses *e-voting* dapat berjalan sesuai dengan prosedur pemilu. Rincian kebutuhan data berdasarkan peran pengguna disajikan pada Tabel 1. 3 berikut:

Tabel 1. 3 Kebutuhan Data Berdasarkan Peran Pengguna (*Role*)

No	Peran (<i>Role</i>)	Kebutuhan Data yang Diakses / Dikelola	Tujuan Penggunaan
1	Admin KPU	1. Data detail Paslon (Nomor urut, visi, misi, partai pengusung, foto)	Sebagai administrator utama yang mengatur konfigurasi awal pemilihan, mendaftarkan kandidat, dan mendistribusikan hak akses ke petugas lapangan.
		2. Data administratif TPS (Lokasi, wilayah, kode TPS)	
		3. Data alokasi kuota DPT per TPS	
		4. Data kredensial akun Ketua KPPS dan Saksi Paslon	
2	Petugas KPPS	1. Data identitas pemilih (berdasarkan DPT fisik/KTP)	Memverifikasi kehadiran pemilih, mengaktifkan bilik suara digital, dan mempertanggungjawabkan

No	Peran (Role)	Kebutuhan Data yang Diakses / Dikelola	Tujuan Penggunaan
			hasil penghitungan suara di tingkat TPS.
		2. Data token sesi pencoblosan (generate token)	
		3. Data hasil rekapitulasi akhir per TPS	
		4. Data dokumen PDF C.Hasil-KWK (untuk dicetak, ditandatangani, dan diunggah kembali)	
3	Operator Bilik	1. Data Booth ID (Identitas Bilik Suara)	Memantau ketersediaan perangkat bilik suara dan memicu pengaktifan layar saat pemilih sudah diverifikasi.
		2. Status sesi bilik (Locked / Unlocked)	
4	Saksi Paslon	1. Data pratinjau (preview) dokumen C.Hasil-KWK TPS	Melakukan pengawasan (verifikasi) hasil hitung suara di TPS dan mengajukan bukti keberatan jika terdapat selisih data.
		2. Data rekapitulasi suara sah dan tidak sah	
		3. Form persetujuan (approval) dan laporan keberatan	
5	Pemilih (DPT)	1. Data Token Sesi unik (diberikan oleh KPPS)	Mengakses hak pilihnya secara anonim di dalam bilik suara elektronik.
		2. Data Kertas Suara Digital (Daftar kandidat)	

5. Selain klasifikasi kebutuhan data antar *role*, penelitian ini juga memanfaatkan sampel data riil Daftar Pemilih Tetap (DPT) dari Pemilu Tahun 2024 (TPS 001, Desa Dukuhwaru, Kabupaten Tegal) sebagai instrumen pengujian fungsionalitas sistem. Sebanyak 30 sampel data DPT digunakan untuk menyimulasikan proses verifikasi kehadiran dan pemberian hak pilih di TPS. Rincian data sampel tersebut disajikan pada Tabel 1. 4 berikut:

Tabel 1. 4 Sampel Data Daftar Pemilih Tetap (DPT) Pemilu 2024

No	Nama Pemilih	NIK	Jenis Kelamin	Jenis Disabilitas
1	ABDU ROSID	33281804*****	L	-
2	ABDUL KARIM	33281821*****	L	-
3	ABDUL MUTHOLIB	33281801*****	L	-
4	ABDUL WAHID	33281828*****	L	-
5	ABDUROKHMANN SALEH	33281824*****	L	-
6	ABELLIA SEPTIANI	33281869*****	P	-
7	ABI DWI PRASETYO	33281821*****	L	-
8	ABI NUR FIQI	33281824*****	L	-
9	ADE KURNIATI	33281867*****	P	-
10	ADITYA PUTRA PERMANA	33281810*****	L	-
11	ADNAN NUR IMAM	33281824*****	L	-

12	AGUNG ARAHMAN	33281828*****	L	-
13	AGUS RIYANTO	33281107*****	L	-
14	AGUS SUPRIANTO	33290707*****	L	-
15	AHMAD DAHLAN	33281817*****	L	-
16	AHMAD FAUZI	33281819*****	L	-
17	AHMAD MISBAH	33281812*****	L	-
18	AHMAD SUBKHI	33281817*****	L	-
19	AHMAD SYEHUDIN	33281101*****	L	-
20	AHMAD ULLY FAHMI	33280918*****	L	-
21	AINUN NAFIAH	33281856*****	P	-
22	AINUN NIZAR ALMALISI	33281801*****	L	-
23	AJI PURNOMO	33281813*****	L	-
24	AKHMAD BAHARIZKI	33281416*****	L	-
25	AKYAR	33281810*****	L	-
26	ALI MARHABAH	33281801*****	L	-
27	ALYA RAHMAWATI	33281859*****	P	-
28	AMBARWATI	33281869*****	P	-
29	AMIN SUTRISNO	33290807*****	L	-
30	AMIRUDIN	33281831*****	L	-

6. Data Observasi KPU Data observasi diperoleh melalui wawancara dan diskusi langsung dengan pihak KPU Kota Tegal untuk memastikan alur kerja aplikasi sesuai dengan aturan resmi penyelenggaraan pemilu. Rincian kegiatan observasi dapat dilihat pada Tabel 1. 5 berikut:

Tabel 1. 5 Kegiatan Observasi

No	Tanggal	Pihak yang Diwawancara	Tujuan Observasi
1.	9 Maret 2026	Moh. Mansur Syariffudin, M.Si. (Komisioner Divisi Teknis Penyelenggaraan KPU Kota Tegal)	Menggali informasi awal terkait kendala teknis pada rekapitulasi suara tradisional dan mekanisme pelaporan C.Hasil.
2.	30 April 2026	Moh. Mansur Syariffudin, M.Si. (Komisioner Divisi Teknis Penyelenggaraan KPU Kota Tegal)	Membahas Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pilkada 2024 dan struktur Tempat Pemungutan Suara (TPS) di Kota Tegal.
3.	20 Mei 2026	Moh. Mansur Syariffudin, M.Si. (Komisioner Divisi Teknis Penyelenggaraan KPU Kota Tegal)	Memvalidasi rancangan alur kerja aplikasi <i>e-voting</i> dan batasan peran petugas (<i>role-based</i>) agar sesuai dengan regulasi KPU.

7. Data Rekaan Sistem (Data *Dummy*) Demi menjaga privasi masyarakat, sistem ini tidak menggunakan data Daftar Pemilih Tetap (DPT) asli. Data yang dimasukkan murni berupa data rekaan yang meliputi: data pasangan

calon (nama, nomor urut, foto), data akun petugas KPPS dan pengawas (Bawaslu), serta penamaan kode TPS (misalnya: TPS-001 hingga TPS-377).

1.4.2 Alat Penelitian

Dalam proses perancangan, pembuatan, hingga pengujian aplikasi "Rancang Bangun Sistem *E-Voting* Sebagai Alternatif Pilkada di DPT Kecil (Kota Tegal)", alat penelitian yang digunakan terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*).

Rincian alat penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. 6 berikut:

Tabel 1. 6 Alat Penelitian

No	Alat Penelitian	Fungsi dalam Sistem
1.	Node.js & Express	Lingkungan eksekusi (<i>runtime</i>) dan kerangka kerja (<i>framework</i>) utama untuk membangun sistem peladen bagian belakang (<i>backend API</i>).
2.	React & TailwindCSS	Pustaka (<i>library</i>) dan kerangka kerja desain yang digunakan untuk membangun tampilan antarmuka pengguna (<i>frontend</i>) yang interaktif dan responsif.
3.	SQLite (node:sqlite)	Basis data lokal (<i>local database</i>) yang digunakan pada masing-masing TPS untuk

No	Alat Penelitian	Fungsi dalam Sistem
		menyimpan data suara pemilih secara cepat tanpa bergantung pada koneksi internet.
4.	Solidity & Hardhat	Bahasa pemrograman dan lingkungan pengujian yang digunakan untuk menulis serta menjalankan kontrak pintar (<i>smart contract</i>) pada jaringan <i>blockchain</i> .
5.	Ethers.js	Pustaka yang menjembatani komunikasi antara peladen (<i>backend</i>) aplikasi dengan jaringan <i>blockchain</i> .
6.	Visual Studio Code	Perangkat lunak editor teks utama untuk menulis dan merapikan seluruh baris kode pemrograman aplikasi.
7.	Git & GitHub	Sistem pengontrol versi (<i>version control system</i>) untuk mencatat riwayat perubahan kode dan menyimpan cadangan proyek secara <i>online</i> .
8.	Chrome Browser	Digunakan sebagai peramban web (<i>web browser</i>) utama untuk menjalankan dan menguji fungsionalitas antarmuka pengguna (<i>user interface</i>) dari aplikasi <i>e-voting</i> .

No	Alat Penelitian	Fungsi dalam Sistem
9.	Laptop (Prosesor Intel Core i7 / Setara, RAM 16 GB, SSD 2 TB)	Perangkat keras utama yang digunakan sebagai tempat simulasi peladen lokal (<i>localhost</i>) selama proses perancangan dan pengujian sistem.