

Design and Implementation of IoT-Based Smart Election Using ESP32 and RFID

Bambang Irawan¹, Anggasta Rukma Ardiyanto²

Universitas Esa Unggul, Teknik Informatika, Jl. Arjuna Utara No.9, Jakarta Barat, 11510, Indonesia

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Received 2025-02-04

Revised 2025-07-04

Accepted 2025-07-17

Corresponding Author:

Bambang Irawan

Email:

bambang.irawan@esaunggul.ac.id



This is an open access article under the [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.

Abstract – This research aims to design and implement a smart election system leveraging Internet of Things (IoT) technology through the integration of the RFID RC522 module, ESP32 microcontroller, and the MQTT communication protocol, with the goal of improving the efficiency, transparency, and security of the voting process. The research adopts a prototyping approach consisting of four main stages: requirement analysis, system design, performance evaluation, and refinement leading to final implementation. The system enables voter authentication through e-KTP verification using RFID sensors, which is cross-checked against a centralized database. Voting data are transmitted securely via the MQTT protocol and displayed in real-time through a Node-RED dashboard, allowing for continuous monitoring and rapid vote recapitulation. Experimental results indicate a 100% accuracy rate in UID verification, prevention of duplicate voting, and stable system responsiveness. The platform significantly reduces human intervention and the risk of vote manipulation, supporting the credibility and auditability of election results. In conclusion, the proposed IoT-based smart election prototype offers an efficient, scalable, and user-friendly technological solution suitable for local deployment. Future improvements may include the integration of cryptographic techniques, cloud-based data storage, and biometric authentication to enhance system robustness and security.

Keywords: ESP32; IoT; MQTT; RFID; Smart Election

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemilihan cerdas berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan modul RFID RC522, mikrokontroler ESP32, serta protokol komunikasi MQTT sebagai komponen utama dalam mendukung proses pemungutan suara yang efisien dan terintegrasi untuk meningkatkan efisiensi, transparansi, dan keamanan dalam proses pemungutan suara. Metode yang digunakan adalah pendekatan prototipe dengan empat tahapan utama: analisis kebutuhan, perancangan sistem, evaluasi kinerja, dan penyempurnaan hingga tahap implementasi akhir. Sistem memungkinkan proses autentikasi pemilih menggunakan e-KTP yang terbaca melalui sensor RFID dan diverifikasi dengan database terpusat. Selanjutnya, hasil pemungutan suara dikirim secara otomatis menggunakan protokol MQTT dan ditampilkan melalui dashboard berbasis Node-RED untuk monitoring waktu nyata. Hasil pengujian menunjukkan akurasi verifikasi UID sebesar 100%, kemampuan mencegah pemilih ganda, serta respons sistem yang stabil dan cepat. Data yang masuk dapat direkap dan dipantau secara langsung sehingga mendukung proses audit digital dan akuntabilitas pemilu. Sistem ini juga mampu mengurangi potensi manipulasi suara serta meminimalkan intervensi manusia. Kesimpulannya, prototipe ini memberikan solusi teknologi yang efisien, user-friendly, dan potensial untuk diterapkan dalam skala lokal maupun nasional. Pengembangan selanjutnya dapat mengintegrasikan teknologi kriptografi, penyimpanan berbasis cloud, serta otentikasi biometrik guna memperkuat aspek keamanan dan skalabilitas sistem.

Kata Kunci: ESP32, IoT, MQTT, Pemilihan Cerdas, RFID

I. PENDAHULUAN

Pemilihan umum (pemilu) adalah salah satu pilar utama dalam sistem demokrasi modern yang memastikan hak setiap warga negara untuk terlibat secara langsung dalam proses pengambilan keputusan politik. Sistem pemilu yang transparan, akuntabel, dan efisien menjadi kunci dalam menjaga kepercayaan publik terhadap hasil pemungutan suara. Di Indonesia, proses pemilu konvensional masih menghadapi berbagai tantangan seperti antrean panjang, kesalahan manusia, dan potensi kecurangan dalam penghitungan suara.

Urgensi penerapan teknologi digital dalam sistem pemilu semakin tinggi, terutama untuk meningkatkan efisiensi dan transparansi. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah pemanfaatan *electronic voting* (e-voting), yang memungkinkan proses pemungutan dan penghitungan suara dilakukan secara otomatis dengan pengawasan minimal. Sistem e-voting berbasis teknologi informasi juga diyakini mampu mempercepat rekapitulasi suara dan mengurangi beban administratif.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem e-voting menggunakan teknologi seperti Arduino, RFID, dan IoT. Misalnya, Dike et al. mengembangkan sistem voting berbasis RFID dan Arduino untuk memverifikasi identitas pemilih secara elektronik [1]. Penelitian lain mengintegrasikan web server dengan ESP8266 untuk mendukung voting jarak jauh berbasis jaringan lokal [2]. Sementara itu, pendekatan berbasis Blockchain juga mulai digunakan untuk menjamin keamanan dan imutabilitas data suara [3].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan, antara lain pada aspek keterpaduan antar komponen sistem, tidak adanya komunikasi data secara real-time, serta belum adanya fitur deteksi suara ganda secara otomatis. Penelitian oleh Rao et al. menggunakan RFID untuk otentikasi pemilih,

namun belum mendukung pengiriman data secara efisien menggunakan protokol ringan seperti MQTT [4]. Sistem berbasis Raspberry Pi yang dikembangkan oleh Fawzy et al berfokus pada tampilan visual dan otentikasi dasar, namun belum mengoptimalkan interoperabilitas dengan platform monitoring real-time [5].

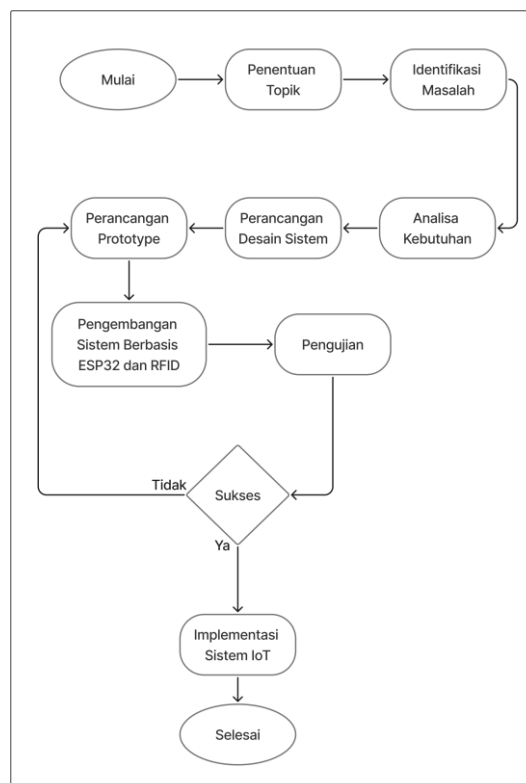
Dari studi literatur tersebut, terdapat *gap* yaitu belum adanya sistem e-voting berbasis RFID yang terintegrasi penuh dengan protokol MQTT dan dashboard real-time, sekaligus menyediakan mekanisme pencegahan suara ganda, otentikasi pemilih berbasis UID e-KTP, serta rekapitulasi langsung. Sistem yang efisien, scalable, dan mudah diimplementasikan pada skala lokal juga belum banyak ditemukan pada konteks pengembangan teknologi pemilu di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem e-voting berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan mengintegrasikan modul RFID RC522, mikrokontroler ESP32, dan protokol komunikasi MQTT, yang mendukung proses verifikasi UID dari e-KTP, pengiriman data suara secara real-time, serta visualisasi informasi melalui platform Node-RED.

Penelitian ini menawarkan kebaruan berupa integrasi sistem e-voting berbasis IoT yang bersifat modular dan real-time dengan protokol MQTT, yang mampu menampilkan rekapitulasi suara secara langsung melalui dashboard visualisasi serta mencegah pemilih melakukan suara ganda. Hal ini membedakan dari pendekatan sebelumnya yang hanya mengandalkan RFID untuk otentikasi tanpa pengolahan data waktu nyata.

Kontribusi utama dari penelitian ini adalah pengembangan prototipe sistem pemilihan cerdas yang mampu mendukung proses pemilu yang lebih efisien, transparan, dan dapat diaudit secara digital. Sistem ini dapat menjadi solusi alternatif untuk pelaksanaan pemilu berskala kecil, seperti di lingkungan kampus, organisasi lokal, atau pemilihan internal lainnya, serta memiliki potensi untuk dikembangkan pada skala lebih luas dengan menambahkan fitur keamanan lanjutan.

II. METODE

Penelitian ini menerapkan metode prototipe dalam proses pengembangan sistem Smart Election berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memanfaatkan teknologi RFID. Sistem tersebut sesuai untuk proyek teknologi berbasis perangkat keras dan lunak dengan iterasi bertahap hingga mencapai sistem akhir yang fungsional [6]. Metode ini dipilih agar proses pengembangan sistem dapat dilakukan secara bertahap, sekaligus memberikan kesempatan untuk memperoleh masukan dari pengguna guna penyempurnaan sebelum tahap implementasi final.



Gambar 1. Prototipe [7]

Fase pertama adalah fase analisis kebutuhan. Fase analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi kelemahan utama sistem pemilu tradisional, seperti kurangnya efisiensi, akurasi, serta rentannya proses terhadap

manipulasi dan pemilih ganda [7]. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan sistem pemilihan cerdas yang menggabungkan pembaca RFID RC522 untuk membaca UID e-KTP, mikrokontroler ESP32 yang memiliki konektivitas Wi-Fi untuk memproses dan mengirim data, serta protokol MQTT sebagai media komunikasi data ringan dan cepat [8]. Sistem ini dirancang agar dapat melakukan autentikasi pemilih secara digital, memblokir hak suara ganda, dan merekam semua aktivitas ke dalam log untuk audit. Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pengiriman dan visualisasi data suara secara waktu nyata, sehingga sistem mampu meningkatkan transparansi dan efisiensi dalam pelaksanaan pemilu skala lokal [9].

Fase kedua adalah fase perancangan desain prototipe. Fase perancangan desain prototipe dilakukan berdasarkan hasil analisis kebutuhan, dengan tujuan untuk memvisualisasikan alur kerja sistem sebelum implementasi fisik dilakukan. Desain awal mencakup skema sistem pemungutan suara mulai dari autentikasi pemilih menggunakan e-KTP berbasis RFID RC522, pemrosesan data oleh mikrokontroler ESP32, hingga pengiriman suara secara real-time menggunakan protokol MQTT. Selain itu, antarmuka pengguna dirancang sederhana menggunakan LCD 16 x 2 untuk menampilkan status verifikasi dan hasil pemilihan. Perancangan ini penting untuk menguji kelayakan fungsional sistem, mengidentifikasi potensi konflik modul, serta memastikan bahwa setiap komponen dapat berinteraksi secara logis dan efisien sesuai prinsip *system prototyping* dalam pengembangan sistem tertanam berbasis IoT [10].

Fase ketiga adalah fase evaluasi prototipe. Fase evaluasi prototipe dilakukan untuk memperoleh umpan balik awal dari pengguna atau tim pengembang guna menilai kelayakan dan efektivitas sistem sebelum diimplementasikan secara penuh. Evaluasi mencakup penilaian aspek fungsional seperti akurasi pembacaan UID RFID, respons sistem terhadap input, serta kemampuan mencegah pemilih ganda, di samping aspek antarmuka seperti kejelasan tampilan informasi pada LCD dan kemudahan penggunaan. Tujuan utama dari fase ini adalah mengidentifikasi kekurangan sistem sejak dini agar dapat diperbaiki secara iteratif sebelum memasuki tahap implementasi akhir. Evaluasi prototipe dalam pengembangan sistem IoT terbukti efektif dalam mendeteksi masalah desain yang tidak terdeteksi pada tahap awal, serta meningkatkan kualitas sistem secara keseluruhan [11].

Fase keempat adalah fase penyempurnaan prototipe. Fase penyempurnaan prototipe dilakukan berdasarkan temuan dan umpan balik dari tahap evaluasi sebelumnya. Perbaikan difokuskan pada aspek yang belum optimal, seperti pengaturan logika verifikasi UID, respons tombol input, tampilan antarmuka pada LCD, serta stabilitas koneksi MQTT. Prototipe selanjutnya diuji kembali guna memastikan bahwa penyempurnaan yang telah dilakukan mampu menghasilkan sistem yang memenuhi kebutuhan pengguna serta sejalan dengan tujuan dari penelitian ini. Proses ini bersifat iteratif dan dilakukan berulang kali sampai sistem menunjukkan kinerja yang stabil, akurat, dan mudah digunakan. Pendekatan iteratif dalam penyempurnaan prototipe terbukti meningkatkan kualitas dan ketahanan sistem, terutama dalam pengembangan teknologi IoT berbasis mikrokontroler [12].

Fase kelima adalah implementasi system. Setelah prototipe akhir disempurnakan dan disetujui, sistem diimplementasikan secara menyeluruh dengan mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras terdiri dari pembaca RFID RC522 dan mikrokontroler ESP32, sementara perangkat lunak mencakup database pemilih yang diakses secara lokal, protokol MQTT untuk pengiriman data, serta antarmuka visual menggunakan Node-RED. Implementasi ini bertujuan memastikan seluruh alur proses pemungutan suara mulai dari autentikasi pemilih, input pilihan, hingga rekapitulasi suara berjalan secara *real-time*, akurat, dan aman. Pengujian dilakukan dalam kondisi simulasi nyata untuk mengevaluasi keandalan sistem dalam menangani banyak transaksi, kestabilan komunikasi jaringan, serta validitas data suara yang dikirim dan diterima. Tahap ini merupakan langkah penting dalam memastikan sistem siap diterapkan dalam konteks riil dan memenuhi prinsip efisiensi serta transparansi dalam pemilu digital berbasis IoT [13].

Fase keenam adalah fase evaluasi system. Fase evaluasi sistem dilakukan setelah proses implementasi selesai, dengan tujuan menilai apakah sistem telah memenuhi kriteria fungsional dan non-fungsional yang telah ditetapkan sebelumnya. Evaluasi mencakup pengujian terhadap keakuratan pembacaan UID, ketepatan pencatatan suara, kecepatan respon sistem, kestabilan komunikasi MQTT, dan kemampuan sistem dalam mencegah pemungutan suara ganda. Jika ditemukan kesalahan logika, bug, atau ketidaksesuaian dengan spesifikasi sistem, maka pengembangan dikembalikan ke tahap pengkodean untuk dilakukan perbaikan secara iteratif. Evaluasi ini juga memastikan bahwa antarmuka pengguna dapat digunakan dengan mudah dan informasi ditampilkan secara jelas. Proses evaluasi bersifat krusial untuk menjamin bahwa sistem siap digunakan dalam lingkungan nyata dengan performa optimal dan risiko kegagalan minimal [14].

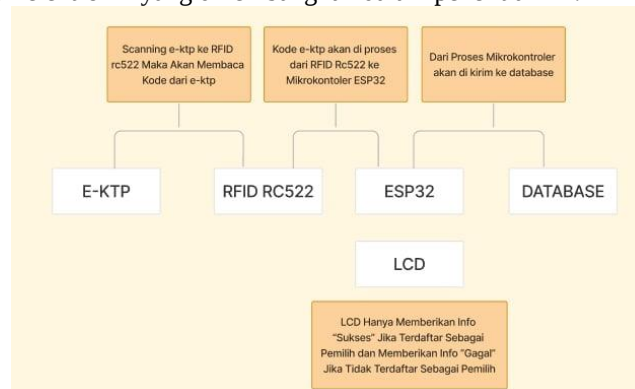
Fase ketujuh adalah fase penggunaan sistem, fase penggunaan sistem dilakukan setelah seluruh proses pengembangan, pengujian, dan evaluasi dinyatakan berhasil dan sistem memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Pada tahap ini, sistem diterapkan dalam lingkungan studi kasus yang telah disimulasikan menyerupai kondisi nyata, misalnya di lingkungan organisasi, sekolah, atau kampus, guna menguji efektivitasnya secara langsung. Implementasi penuh mencakup autentikasi pemilih dengan e-KTP berbasis RFID, pengambilan keputusan menggunakan tombol input, serta rekapitulasi suara melalui dashboard Node-RED secara real-time. Tujuan

utama dari fase ini adalah memastikan bahwa sistem berfungsi secara optimal dalam skenario dunia nyata, tetap stabil dalam menghadapi banyak transaksi, dan memberikan pengalaman pengguna yang baik. Penggunaan sistem dalam konteks simulasi aktual penting untuk mengukur tingkat kesiapan sistem sebelum digunakan dalam skala lebih besar [15].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rancangan Alat dan Sistem

Perangkat yang dirancang menggunakan teknologi IoT ini dibuat untuk menunjang sistem pemilihan elektronik yang cerdas. Gambar 2 menampilkan skema rancangan perangkat yang disusun guna mendukung implementasi sistem pemilihan elektronik yang dikembangkan dalam penelitian ini.



Gambar 2. Rancangan Sistem

Gambar 2 memperlihatkan rancangan sistem e-voting berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menggabungkan teknologi RFID dari e-KTP dengan koneksi internet untuk mendukung proses autentikasi pemilih, pencatatan hasil suara, dan pengiriman data secara real-time [16]. Sistem ini dibangun dari sejumlah komponen elektronik yang saling terintegrasi dan berfungsi secara sinergis untuk menciptakan solusi pemilu cerdas yang efisien dan transparan. Adapun komponen utama beserta fungsinya dijelaskan sebagai berikut:

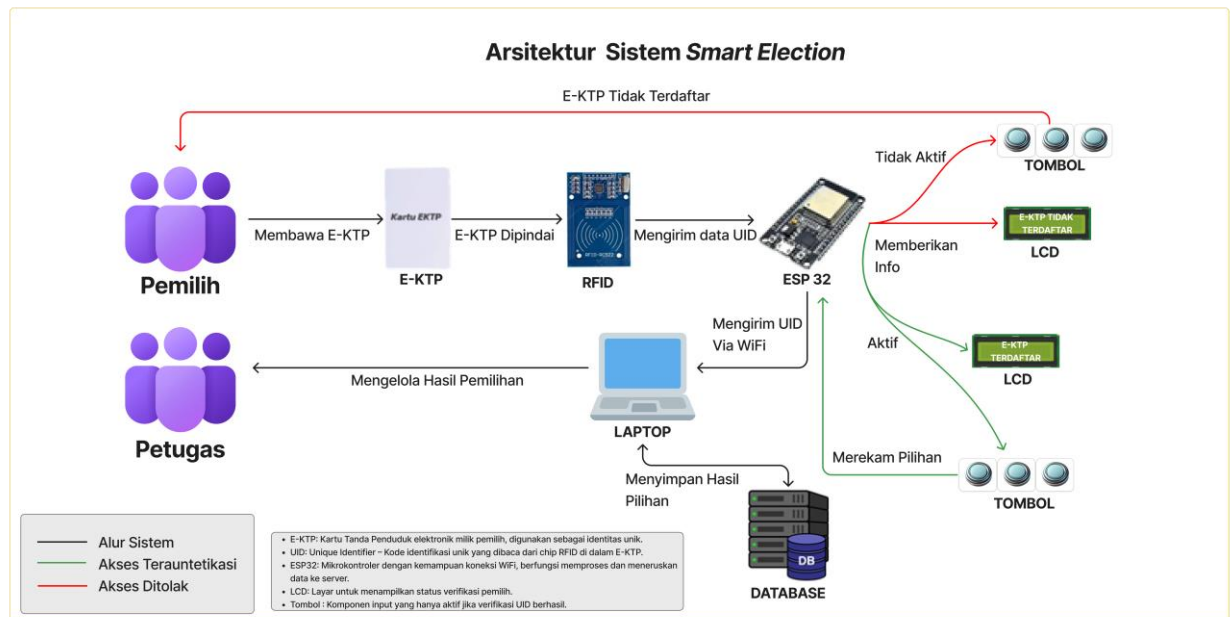
1. Media identitas yang akan dipindai adalah kartu e-KTP pemilih. Data unik yang terkandung dalam chip e-KTP digunakan untuk autentikasi pemilih.
2. Modul RFID RC522 berperan dalam membaca informasi yang tertanam di dalam chip e-KTP. Saat e-KTP dipindai, modul ini akan mendeteksi dan mengenali kode identitas unik dari chip tersebut.
3. Informasi yang diperoleh dari modul RFID RC522 kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32. Setelah itu, data tersebut diteruskan ke sistem database melalui jaringan internet untuk keperluan penyimpanan dan verifikasi lebih lanjut.
4. Data yang telah diproses oleh ESP32 selanjutnya diteruskan dan disimpan pada server database. Database ini mencatat status autentikasi dan memverifikasi apakah pemilih terdaftar.
5. Layar LCD digunakan untuk menyampaikan respon sistem kepada pemilih. Apabila data pemilih terverifikasi dalam database, akan muncul pesan "Sukses", sedangkan jika tidak terdaftar, sistem akan menampilkan pesan "Gagal".

Modul RFID RC522 menggunakan pemindaian e-KTP untuk memverifikasi data pemilih. Kode unik dari e-KTP dikirim ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses lebih lanjut. Dalam proses verifikasi data pemilih, ESP32 terhubung ke server database melalui koneksi Wi-Fi. Setelah proses validasi selesai, informasi hasil autentikasi ditampilkan pada layar LCD. Apabila data pemilih terverifikasi dalam sistem, layar LCD akan menampilkan pesan "Berhasil". Sebaliknya, jika data tidak ditemukan dalam daftar, akan muncul pesan "Kesalahan". Setelah proses validasi selesai dengan sukses, data pemilih akan langsung direkam ke dalam server cloud secara real-time dan dapat diakses melalui aplikasi maupun platform website. Mekanisme ini dirancang untuk menjamin transparansi, ketepatan, dan efisiensi dalam penyelenggaraan pemilu berbasis IoT. Sistem ini juga memiliki potensi untuk diterapkan di berbagai tingkatan pemilihan guna meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap proses e-voting [17].

Pemilihan mikrokontroler ESP32 dalam sistem ini didasarkan pada keunggulannya dibandingkan alternatif seperti Arduino Uno atau ESP8266. ESP32 memiliki prosesor dual-core hingga 240 MHz, koneksi Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, serta kapasitas memori yang lebih besar, yang sangat sesuai untuk kebutuhan sistem IoT berbasis pemilu elektronik [18]. Selain itu, ESP32 tergolong ekonomis dan telah terbukti kompatibel dengan modul RFID serta protokol MQTT [19].

B. Alur Sistem IoT (Internet of Things)

Alur kerja sistem *Internet of Things* (IoT) ditampilkan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3. Struktur arsitektur sistem ini dirancang secara terperinci untuk merepresentasikan setiap tahapan proses yang terjadi, dari tahap awal hingga akhir, sehingga dapat memberikan gambaran utuh mengenai mekanisme kerja sistem yang diterapkan.



Gambar 3. Arsitektur Sistem

Sistem pemilihan cerdas berbasis IoT dengan integrasi e-KTP RFID dirancang untuk memperkuat aspek keamanan, keterbukaan, dan efisiensi dalam pelaksanaan pemilu, sebagaimana ditunjukkan dalam rancangan sistem sebelumnya [20]. Untuk mendukung pengelolaan data secara waktu nyata, sistem ini mengandalkan teknologi komunikasi MQTT yang dijalankan melalui broker Mosquitto serta diintegrasikan dengan perangkat lunak Node-RED. Protokol MQTT dipilih sebagai media komunikasi data real-time, dengan Mosquitto bertindak sebagai *broker* utama dalam proses pertukaran informasi, yang dikenal ringan, open-source, dan mudah diimplementasikan dalam perangkat terbatas seperti ESP32 [21]. Mosquitto dipilih dibanding broker lain seperti HiveMQ atau EMQX karena kebutuhan sistem ini adalah efisiensi dan kecepatan dalam komunikasi data, bukan skalabilitas tinggi. Data dari ESP32 dikirim ke Mosquitto dan selanjutnya diteruskan ke Node-RED untuk pemrosesan dan visualisasi.

Node-RED digunakan karena menyediakan antarmuka visual berbasis web yang memungkinkan integrasi dan pengolahan data secara cepat tanpa perlu pemrograman kompleks. Dalam sistem ini, Node-RED menerima data UID dan suara dari broker MQTT, melakukan validasi terhadap database pemilih, lalu menampilkan hasil dalam bentuk tabel, grafik, dan log aktivitas. Fitur ini membantu petugas memantau status verifikasi, jumlah suara, dan aktivitas sistem secara real-time dari satu antarmuka [22].

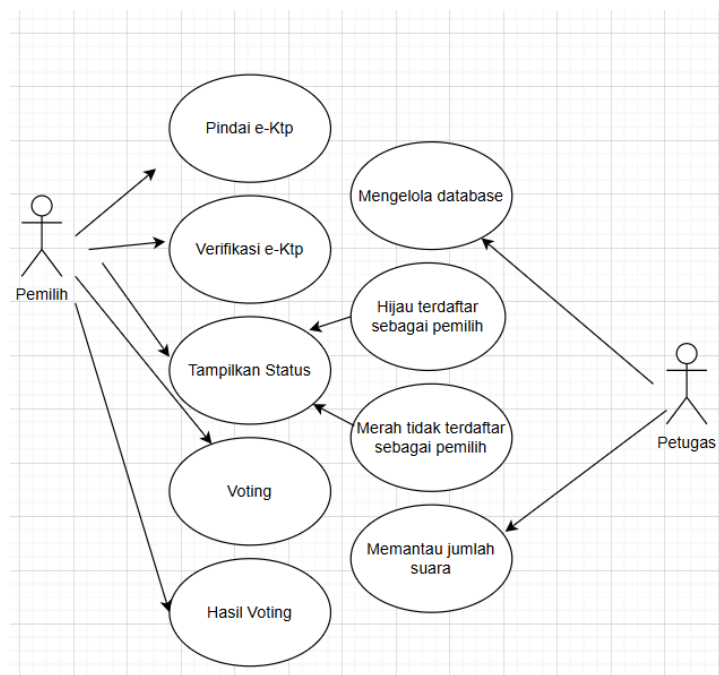
Alur interaksi antar komponen sistem dijelaskan pada Gambar 3. Dimulai dari proses pemindaian e-KTP melalui RFID RC522, data UID dikirim ke ESP32 dan dikemas dalam format MQTT. Data ini dikirim ke Mosquitto broker, kemudian diproses oleh Node-RED yang melakukan validasi terhadap database. Jika valid, respons dikirim kembali ke ESP32, dan hasil autentikasi ditampilkan di LCD Display. Setelah pemilih menekan tombol kandidat, data suara dikirim ulang ke broker dan disimpan di database. Semua proses ini berjalan secara otomatis dan real-time.

Setiap komponen sistem memiliki peran yang saling melengkapi: RFID RC522 sebagai pembaca identitas, ESP32 sebagai pengolah dan pengirim data, Mosquitto sebagai penghubung antar sistem, dan Node-RED sebagai alat integrasi dan visualisasi utama. Integrasi ini memastikan sistem dapat menjalankan proses pemilu dengan efisien, transparan, dan akuntabel [23]. Di bawah ini adalah deskripsi komponen dan prosedur kerja: Dalam proses autentikasi, pemilih menggunakan kartu e-KTP sebagai media identifikasi, sementara petugas berperan dalam mendampingi jalannya pemilu serta mengawasi kinerja sistem.

1. e-KTP berfungsi sebagai identitas unik bagi setiap pemilih. Sistem pemilihan cerdas memanfaatkan informasi yang tersimpan di dalam chip e-KTP untuk melakukan proses verifikasi.
2. Modul RFID RC522 digunakan untuk membaca informasi dari chip e-KTP yang bersifat individual dan berbeda pada setiap kartu.

3. ESP32 bertindak sebagai unit pengolah utama, yang menerima data dari modul RFID RC522. Data ini kemudian dikirimkan ke *broker* Mosquitto melalui protokol MQTT, dan diteruskan ke server database untuk memastikan bahwa pemilih tersebut memang terdaftar secara sah.
4. Koneksi Wi-Fi dan Internet memungkinkan ESP32 terhubung ke jaringan, sehingga proses pengiriman data ke server serta integrasi dengan aplikasi berbasis cloud dapat berjalan dengan lancar.
5. Basis Data berperan dalam menyimpan informasi pemilih dan hasil pemungutan suara secara aman. Proses verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa hanya pemilih yang terdaftar yang dapat memberikan suara, dan hanya satu kali.
6. Layar LCD memberikan umpan balik pemilih secara lokal. Pesan "Sukses" akan muncul jika e-KTP valid; Jika data pemilih tidak valid, sistem akan menampilkan pesan "Gagal".
7. Tombol Pemilihan Kandidat: Setelah proses validasi berhasil, pemilih diberi akses untuk menekan tombol yang mewakili kandidat pilihannya sebagai bentuk partisipasi dalam pemungutan suara. Informasi pilihan ini kemudian dikirim oleh mikrokontroler ESP32 ke server untuk dicatat dalam basis data.
8. Broker MQTT (Mosquitto): Sistem menggunakan protokol MQTT untuk memastikan komunikasi data berjalan secara real-time. ESP32 mengirimkan data suara ke broker Mosquitto, yang selanjutnya meneruskan informasi tersebut ke server dan platform Node-RED untuk diproses lebih lanjut.
9. Node-RED: Node-RED berperan sebagai platform untuk integrasi dan visualisasi data suara yang diterima dari broker MQTT. Selain mengelola aliran data, Node-RED juga menyediakan antarmuka grafis yang intuitif, sehingga memudahkan petugas dalam memantau dan mengawasi hasil pemilu secara real-time.

Diagram alir sistem ini menunjukkan bagaimana seluruh proses dalam sistem IoT berjalan secara otomatis untuk menjamin validitas autentikasi pemilih, keakuratan pencatatan suara, dan transmisi data secara real-time [25]. Dengan mengandalkan integrasi ke server berbasis cloud, sistem mampu memastikan keamanan, transparansi, dan efisiensi dalam manajemen data pemilih serta hasil suara. Visualisasi hubungan antara aktor dan sistem ini ditampilkan dalam Gambar 4 melalui diagram *use case*.



Gambar 4. Use Case Diagram

Gambar tersebut menampilkan diagram use case yang menggambarkan interaksi antara aktor dan fungsi-fungsi utama dalam sistem pemungutan suara cerdas berbasis IoT yang mengintegrasikan teknologi RFID e-KTP. Diagram ini memperlihatkan peran dan aktivitas utama yang dijalankan oleh pemilih, petugas, serta berbagai komponen dalam sistem secara terpadu, guna memberikan gambaran menyeluruh mengenai interaksi yang terjadi di dalam sistem pemilihan berbasis IoT [24]. Berikut adalah penjelasan masing-masing elemen dalam diagram tersebut:

1. Petugas bertanggung jawab menjalankan aktivitas operasional harian selama proses pemilu, seperti memastikan perangkat sistem berfungsi dengan baik, memverifikasi informasi pemilih dalam basis data, serta memantau perolehan suara yang telah direkam.

2. Panitia pemilu memiliki wewenang yang lebih luas dalam pengelolaan sistem pemilihan cerdas berbasis IoT, termasuk melakukan pembaruan atau penambahan data pemilih dalam database, serta menangani perbaikan teknis apabila terjadi gangguan pada sistem. dan memantau hasil rekapitulasi suara yang tersimpan di server secara langsung.
3. Perangkat IoT, seperti pembaca RFID dan mikrokontroler ESP32, berfungsi untuk memproses data pemilih hasil pemindaian e-KTP, mentransfer data melalui koneksi Wi-Fi ke server, dan memastikan bahwa seluruh suara terekam dengan aman dan akurat di dalam basis data.

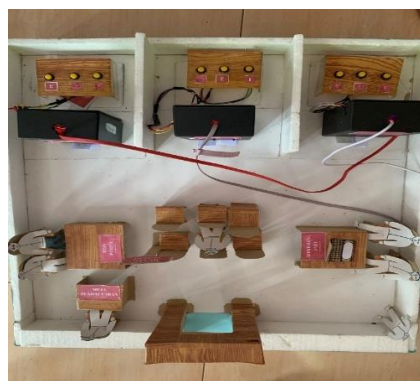
Dalam sistem pemilihan pintar berbasis IoT, setiap aktor memiliki kemampuan untuk melakukan aktivitas tertentu, yang masing-masing memiliki tujuan dan batas. Hal ini dibuat untuk membatasi wewenang untuk menjaga sistem aman. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai proses dalam sistem pemilihan cerdas berbasis IoT:

1. Pindai e-KTP: Proses dimulai ketika pemilih memindai kartu e-KTP menggunakan perangkat pembaca RFID. Sistem kemudian membaca kode unik yang tertanam dalam chip e-KTP sebagai langkah awal untuk melakukan autentikasi identitas pemilih.
2. Verifikasi e-KTP: Data yang diperoleh dari e-KTP dikirim ke basis data pemilih untuk diverifikasi. Sistem akan memeriksa apakah identitas tersebut terdaftar secara resmi sebagai pemilih yang sah dalam database.
3. Sistem menampilkan dua indikator status verifikasi: warna hijau menandakan bahwa pemilih terdaftar dan dapat melanjutkan ke tahap pemilihan, sedangkan warna merah menunjukkan bahwa pemilih tidak terdaftar sehingga tidak dapat melanjutkan proses.
4. Setelah proses verifikasi berhasil dan data pemilih dinyatakan valid, sistem akan memberikan status "hijau" sebagai indikator bahwa pemilih berhak memberikan suara. Dengan status ini, pemilih dapat melanjutkan ke tahap berikutnya, yaitu memilih kandidat yang diinginkan.
5. Setelah pemilih memberikan suaranya, sistem secara otomatis merekam data pemilihan ke dalam database.
6. Petugas bertanggung jawab memastikan bahwa database telah terisi dengan data pemilih yang valid dan dapat diakses oleh sistem saat proses verifikasi berlangsung, guna menjamin kelancaran autentikasi pemilih.
7. Petugas juga berperan dalam memantau jumlah suara yang masuk secara real-time melalui sistem, untuk memastikan proses penghitungan suara berlangsung secara akurat, adil, dan transparan.

Dalam konteks *use case*, proses "Verifikasi e-KTP" merupakan kelanjutan dari "Pindai e-KTP", karena proses verifikasi hanya dapat dilakukan setelah UID berhasil dipindai. Selanjutnya, "Memberikan Suara" hanya dapat dilakukan jika UID valid dan diverifikasi. "Tampilkan Status" adalah pre-kondisi sebelum suara diberikan. Sementara itu, petugas yang melakukan "Mengelola Database" dan "Memantau Jumlah Suara" bertanggung jawab menjaga konsistensi data pemilih dan hasil suara secara terus-menerus [25].

C. Hasil Pengiriman Sistem ke Data

Perangkat IoT mengirimkan data secara real-time ke dalam sistem pemilihan cerdas, memungkinkan proses pemantauan dan pengelolaan data pemilu dilakukan dengan lebih efisien dan praktis [26]. Alat ini juga memfasilitasi petugas pemilu dalam mencatat, memverifikasi, serta mengawasi hasil suara tanpa harus melakukan proses secara manual. Di samping itu, penggunaan perangkat ini turut memastikan ketepatan dan meningkatkan efisiensi pada pengolahan data pemilu.



Gambar 5. Hasil Alat Bagian Atas



Gambar 6. Hasil Alat Bagian Depan

Gambar 5 dan Gambar 6 di atas menampilkan tampilan antarmuka perangkat yang dirancang untuk pengguna dalam sistem pemungutan suara berbasis *Internet of Things* (IoT). Antarmuka ini berfungsi untuk mempermudah pengelolaan data pemilih serta penentuan hasil pemilihan. Untuk memastikan bahwa data pemungutan suara elektronik lebih efisien, jelas, dan akurat, antarmuka dirancang menggunakan rancangan fisik langsung. Desain ini dimaksudkan untuk mempermudah pekerjaan pengguna dan membantu pengambilan keputusan yang cepat dan akurat berdasarkan data. Di bawah ini adalah deskripsi fitur utama antarmuka:

1. Pemfilteran Berdasarkan UID dan Waktu:

Sistem dilengkapi dengan fitur pemfilteran yang memungkinkan pengguna untuk menyaring data berdasarkan UID (Unique Identifier) pemilih maupun rentang waktu tertentu. Fitur ini sangat membantu panitia pemilu dalam melacak informasi secara spesifik, seperti daftar pemilih yang aktif, waktu terjadinya pemungutan suara, hingga status validitas suara. Pendekatan ini selaras dengan praktik manajemen waktu yang umum diterapkan dalam sistem berbasis IoT untuk menjamin efisiensi dalam pengelolaan dan akses data.

2. Tampilan Tabel Data Pemilih:

Hasil dari proses pemungutan suara disajikan dalam format tabel yang ringkas dan informatif, sehingga memudahkan analisis, pelaporan, dan pengambilan keputusan oleh petugas pemilu. Tabel ini mencakup data penting seperti nama kandidat yang dipilih, waktu pemilihan, dan status suara (sah atau tidak sah). Format penyajian ini mendukung proses pengambilan keputusan berbasis data, memungkinkan pengguna dengan cepat mengidentifikasi pola, menganalisis kesalahan, dan melaksanakan audit.

3. Kolom Pencarian Data:

Di atas tabel tersedia kolom pencarian yang memudahkan pengguna menemukan data tertentu menggunakan kata kunci, seperti nama kandidat, UID, atau waktu pemilihan. Fitur ini mempercepat akses terhadap informasi penting dan membantu pengguna tetap fokus pada tugas inti tanpa harus menelusuri data secara manual. Kemampuan akuisisi data secara cepat sangat penting dalam sistem antarmuka berbasis IoT, di mana ketepatan dan efisiensi merupakan faktor utama.

4. Notifikasi dan Umpan Balik Real-time:

Sistem dirancang untuk memberikan notifikasi serta umpan balik secara langsung kepada pengguna. Hal ini mencakup informasi terkait status validitas UID yang dipindai, konfirmasi bahwa suara telah berhasil dicatat, hingga peringatan jika ditemukan anomali dalam proses. Semua informasi ini ditampilkan secara langsung pada antarmuka pengguna, sehingga meningkatkan transparansi dan memberikan kontrol penuh bagi penyelenggara pemilu.

5. Desain Antarmuka Pengguna yang Intuitif dan Menarik:

Antarmuka sistem dirancang agar mudah dipahami dengan navigasi yang sederhana dan tampilan yang menarik secara visual. Desain ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat dioperasikan oleh pengguna dari berbagai latar belakang, termasuk yang memiliki keterbatasan dalam pemahaman teknis.

Skenario pengujian pertama ini bertujuan untuk menguji kemampuan sistem e-voting berbasis IoT dalam membaca UID pemilih secara akurat menggunakan perangkat RFID. Pengujian dilakukan dengan memindai kartu RFID yang telah dikonfigurasi sebelumnya. Hasil yang diharapkan adalah bahwa UID yang terbaca sesuai dengan data yang tersimpan di sistem. Selain itu, diuji pula apakah UID yang valid berhasil dikirim ke server melalui protokol MQTT dan memperoleh respon balik terkait status verifikasi. Rangkaian hasil pengujian ini dijelaskan lebih lanjut dalam Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

TABEL 1.
SKENARIO DAN HASIL PENGUJIAN PERTAMA

No	Bukti Pengujian	Hasil Sesuai
1	Test Case: Memastikan bahwa perangkat RFID mampu mendeteksi UID pemilih secara akurat dan mengirimkan data tersebut ke server MQTT untuk proses verifikasi. Langkah Pengujian: 1. Lakukan pemindaian kartu RFID menggunakan alat RFID yang terintegrasi dengan modul ESP32. 2. Pastikan bahwa data UID berhasil dikirim ke server MQTT melalui topik yang telah ditentukan, yaitu <code>iot_smartelection/checkUID</code>. Hasil yang Diharapkan: UID berhasil dikenali dengan tepat, dan server MQTT menerima data tersebut untuk dilakukan proses verifikasi selanjutnya.	5
2	Test Case: Memastikan bahwa sistem menampilkan respons yang tepat pada layar LCD sesuai dengan hasil verifikasi UID dari server MQTT. Langkah Pengujian: 1. Lakukan pemindaian terhadap UID yang sudah tersimpan dalam sistem. 2. Jika UID valid, tampilkan pesan "Terdaftar", dan jika tidak valid, tampilkan pesan "Tidak Terdaftar" pada LCD. Hasil yang Diharapkan: Pesan yang ditampilkan pada layar LCD mencerminkan hasil verifikasi yang diberikan oleh server MQTT.	5
3	Test Case: Memastikan bahwa tombol pemilihan berfungsi mencatat pilihan kandidat secara akurat dan mengirimkan data tersebut ke server melalui topik <code>iot_smartelection/recordvote</code>. Langkah Pengujian: 1. Tekan tombol yang mewakili kandidat yang dipilih (Tombol 1 untuk "Andi", Tombol 2 untuk "Bani", dan Tombol 3 untuk "Sultan"). 2. Pastikan data pemilihan yang dikirim mencakup UID pemilih. 3. Sertakan juga pilihan kandidat dalam format JSON yang sesuai. Hasil yang Diharapkan: Data hasil pemilihan berhasil dikirim ke server dalam format yang tepat dan mencatat pilihan kandidat dengan akurat.	5
4	Test Case: Memastikan bahwa sistem menampilkan notifikasi bahwa suara telah berhasil direkam setelah pemilih memberikan suara dengan benar. Langkah Pengujian: 1. Tekan tombol kandidat setelah UID yang valid berhasil dipindai. 2. Amati tampilan LCD yang memberikan umpan balik berupa pesan "Vote Recorded!" beserta nama kandidat yang dipilih. Hasil yang Diharapkan: Pesan konfirmasi ditampilkan pada layar LCD untuk memberi kepastian kepada pemilih bahwa suara mereka telah berhasil direkam.	5
5	Test Case: Memastikan bahwa sistem log aktivitas UID mampu mencatat setiap percobaan pemilihan, baik yang berasal dari UID yang valid maupun tidak valid. Langkah Pengujian: 1. Lakukan pemindaian kartu RFID dengan UID yang terdaftar.	5

2. Tinjau tabel *access_logs* dalam database untuk memverifikasi bahwa UID tercatat dengan status "Terdaftar."
4. Pindai kartu RFID dengan UID yang tidak dikenali oleh sistem.
4. Periksa kembali tabel *access_logs* untuk memastikan bahwa UID dicatat dengan status "Tidak Terdaftar."
5. Ulangi proses menggunakan UID yang sebelumnya sudah melakukan pemilihan, dan pastikan status "Sudah Memilih" tercatat dalam *access_logs*.

Hasil yang Diharapkan:

Seluruh aktivitas pemindaian UID tercatat secara lengkap dalam tabel *access_logs*, termasuk informasi validitas dan jenis interaksi yang dilakukan.

TABEL 2.
SKENARIO DAN HASIL PENGUJIAN KEDUA

No	UID Pemilih	Kandidat yang Dipilih	Tercatat	Tingkat Akurasi
1.	UID001	Andi	Andi	100%
2.	UID002	Bani	Bani	100%
3.	UID003	Sultan	Sultan	100%
4.	UID004	Andi	Andi	100%
5.	UID005	Bani	Bani	100%
Rata-rata akurasi				100%

TABEL 3.
SKENARIO DAN HASIL PENGUJIAN KETIGA

No	UID Pemilih	Kandidat yang Dipilih	Tercatat	Tingkat Akurasi
1.	UID006	-	Tidak Terdaftar	100%
2.	UID007	-	Tidak Terdaftar	100%
3.	UID008	-	Sudah Memilih 2 Kali	100%
4.	UID009	-	Tidak Terdaftar	100%
5.	UID0010	-	Sudah Memilih 2 Kali	100%
Rata-rata akurasi				100%

Tujuan dari skenario pengujian yang terdapat pada Tabel 1 adalah untuk memastikan bahwa sistem pemungutan suara berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu mencatat data pemilih dan hasil suara secara akurat melalui serangkaian tahapan operasional. Tahapan tersebut mencakup pemindaian kartu RFID sebagai proses autentikasi, serta input suara melalui penekanan tombol kandidat yang dipilih. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalan sistem dalam merekam informasi secara tepat dan mengirimkannya ke server secara real-time guna mendukung integritas dan efisiensi proses pemilu, serta verifikasi data ke server. Proses pengujian dilakukan secara bertahap. UID dari pemilih dibaca saat kartu RFID dipindai, lalu dikirim ke server melalui protokol MQTT untuk divalidasi dan Setelah UID berhasil diverifikasi, sistem akan memberikan respons berupa status pemilih. Jika status valid, pemilih dapat melanjutkan dengan menekan tombol kandidat pilihannya. Data suara yang dihasilkan kemudian dikirim dalam format JSON ke server dan disimpan dalam basis data untuk keperluan pencatatan dan penghitungan suara secara akurat. Langkah akhir dilakukan dengan memeriksa isi tabel di database guna memastikan bahwa data yang tercatat sesuai dengan input yang dimasukkan.

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa sistem mampu menjalankan semua skenario dengan baik. Proses validasi oleh server berjalan mulus, pembacaan UID pemilih akurat, dan status pemilih langsung ditampilkan pada LCD. Data suara yang dikirim melalui MQTT konsisten dengan kandidat yang dipilih, waktu pemilihan, dan UID pemilih. Sistem juga dilengkapi dengan mekanisme otomatis untuk mencegah upaya pemberian suara ganda. Jika seorang pemilih mencoba menggunakan UID yang sudah tercatat, sistem akan menolak akses dan menampilkan notifikasi peringatan pada layar. Selain itu, fitur pencatatan log aktivitas UID berfungsi secara efektif dengan merekam seluruh interaksi, termasuk percobaan penggunaan UID yang tidak valid, sehingga

memungkinkan pelacakan dan audit data secara menyeluruh, dan suara ganda. Secara keseluruhan, sistem menunjukkan performa yang andal dan memenuhi kriteria pengujian fungsional utama, mulai dari pembacaan UID hingga pencatatan hasil suara. Oleh karena itu, sistem e-voting berbasis IoT ini cukup fleksibel dan layak untuk diimplementasikan dalam skala lebih luas.

Pengujian yang ditampilkan pada Tabel 2 dan 3 menunjukkan tingkat akurasi 100%. Meskipun hasil ini sangat baik, perlu dicermati bahwa pengujian dilakukan dalam kondisi laboratorium yang terkendali, dengan sampel data terbatas dan lingkungan pengujian yang ideal, seperti sinyal RFID stabil dan tidak adanya gangguan koneksi Wi-Fi. Oleh karena itu, hasil ini belum sepenuhnya mencerminkan tantangan yang mungkin dihadapi dalam implementasi nyata, seperti interferensi sinyal, keterlambatan jaringan, atau kegagalan pemindaian kartu rusak. Pengujian skala besar, penggunaan UID acak, dan variabilitas lingkungan sangat dibutuhkan untuk mengevaluasi kinerja sistem secara lebih menyeluruh.

Penggunaan RFID untuk verifikasi serta MQTT sebagai protokol komunikasi dapat mencapai latensi baca RFID rata-rata hanya 0,284 ms dan latensi komunikasi MQTT sekitar 27,47 ms, dengan tingkat keandalan pengiriman data mencapai 0 % kehilangan pesan [27]. Temuan ini sangat mendukung implementasi pada sistem pemilihan pintar berbasis ESP32 dan RFID: waktu respons autentikasi pemilih dapat sangat cepat (di bawah 1 ms) dan data suara atau status pemilih dapat dikirimkan secara andal dan real-time ke backend via MQTT. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Ariski Prataman tentang Sistem yang dikembangkan dengan menggunakan mikrokontroler ESP32, yang memungkinkan proses otomatisasi berjalan secara efisien dan dapat diawasi secara langsung melalui platform berbasis web. Dengan kemampuan konektivitas internet, ESP32 memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem dilakukan secara real-time, sehingga mendukung pengelolaan yang cepat dan responsive untuk pertumbuhan tanaman sawi dan selada [28]. Hal ini memastikan proses e-voting atau validasi pemilih dilakukan secara efisien, aman, dan skalabel, terutama pada aplikasi multi-TPS berbasis jaringan IoT.

IV. SIMPULAN

Sistem pemilu cerdas berbasis IoT yang dirancang menggunakan ESP32, RFID, dan protokol MQTT telah berhasil memenuhi fungsinya dalam memverifikasi pemilih, mencatat suara secara real-time, serta menjaga transparansi dan integritas data. Implementasi protokol komunikasi MQTT dan pemrosesan melalui Node-RED memastikan keakuratan serta kecepatan umpan balik kepada pemilih. Sistem ini juga mampu mencegah duplikasi suara dan mencatat aktivitas secara lengkap dalam basis data. Meskipun sistem menunjukkan kinerja optimal dalam skala uji coba, pengembangannya masih memiliki keterbatasan, seperti belum diterapkannya fitur keamanan tambahan seperti enkripsi data dan otentikasi ganda. Ke depan, sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk skala pemilu yang lebih besar, serta diintegrasikan dengan teknologi keamanan siber guna meningkatkan perlindungan data dan kepercayaan publik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. N. Dike, A. Okodugha, dan A. G. Okuboare, "Design and Implementation of a Radio Frequency Identification based Enhanced Electronic Voting Machine (EEVM) for Free and Fair Elections," *Int J Comput Appl*, vol. 184, no. 10, hlm. 5–11, 2022, doi: 10.5120/ijca2022921995.
- [2] M. M. Desai, J. J. Patoliya, dan H. K. Mewada, *Internet of Things (IoT)-Based Advanced Voting Machine System Enhanced Using Low-Cost IoT Embedded Device and Cloud Platform*, vol. 196, no. November. Springer Singapore, 2021. doi: 10.1007/978-981-15-7062-9_8.
- [3] M. Hajian Berenjestanaki, H. R. Barzegar, N. El Ioini, dan C. Pahl, "Blockchain-Based E-Voting Systems: A Technology Review," *Electronics (Switzerland)*, vol. 13, no. 1, hlm. 1–38, 2024, doi: 10.3390/electronics13010017.
- [4] B. Surendrarao, E. Prasanth, R. Siva, S. Teja, dan Y. Sandeep, "Rfid Based Smart Voting System," *International Research Journal of Engineering and Technology*, hlm. 1577, 2008, [Daring]. Tersedia pada: www.irjet.net
- [5] D. Fawzy, S. M. Moussa, dan N. L. Badr, "An IoT-based resource utilization framework using data fusion for smart environments," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 21, no. November 2022, hlm. 100645, 2023, doi: 10.1016/j.iot.2022.100645.
- [6] M. Konersmann dan M. Goedicke, *Same but different: Consistently developing and evolving software architecture models and their implementation*. 2020. doi: 10.1007/978-3-030-58617-1_6.
- [7] F. Syanira, N. Amantha, S. Sofiana, dan S. G. Pratama, "TERBUKA DALAM MEWUJUDKAN KETERWAKILAN POLITIK YANG ADIL DI DAPIL JAKARTA SELATAN PADA PEMILU 2024," vol. 9, no. 4, hlm. 151–156, 2025.
- [8] S. Tian dan V. G. Vassilakis, "On the Efficiency of a Lightweight Authentication and Privacy Preservation Scheme for MQTT," *Electronics (Switzerland)*, vol. 12, no. 14, 2023, doi: 10.3390/electronics12143085.
- [9] S. Hernández Ramos, M. T. Villalba, dan R. Lacuesta, "MQTT Security: A Novel Fuzzing Approach," *Wirel Commun Mob Comput*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/8261746.
- [10] Mahadev A. Gawas, "IoT Things based Power Theft Analyzer Detection," *International Journal of Engineering Research and*, vol. V9, no. 06, hlm. 758–760, 2020, doi: 10.17577/ijertv9is060546.
- [11] L. A. Syamsul, I. Akbar, dan C. Ramadhani, "Development of an IoT-Based Smart Home Prototype Using the Blynk Application," hlm. 25–36, 2025.
- [12] T. Prabakar dan S. Kanchana, "an Iot Based Efficient E-Voting System Using Qr Code and Efft-Swifft With Blockchain for Enhanced Security and Transparency," *J Theor Appl Inf Technol*, vol. 103, no. 7, hlm. 2917–2931, 2025.
- [13] Ezenwobodo dan S. Samuel, "International Journal of Research Publication and Reviews," *International Journal of Research Publication and Reviews*, vol. 04, no. 01, hlm. 1806–1812, 2022, doi: 10.55248/gengpi.2023.4149.

- [14] A. Ziad dan E. Darnila, "Development and Implementation of an ESP32 Microcontroller and Monitoring System for Smart Door Lock Using RFID Sensor for E-KTP ID and Fingerprint Based on the *Internet of Things*," vol. 00023, hlm. 1–11, 2024.
- [15] A. A. H. Othman, E. A. A. Muhammed, dan ..., "Online voting system based on iot and ethereum blockchain," *2021 International ...*, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9406528/>
- [16] M. Fadhilur Rahman, N. Afandi, W. Dika Pratama, dan Y. Wahyudi, "RANCANG BANGUN E-SMART PEMILU MENGGUNAKAN RFID RC522 BERBASIS IOT (*INTERNET OF THINGS*)," 2022.
- [17] A. Sahu, "IOT BASED ONLINE VOTING SYSTEM WITH FINGERPRINT VERIFICATION," *INTERANTIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, vol. 08, no. 06, hlm. 1–5, Jun 2024, doi: 10.55041/IJSREM36128.
- [18] M. G. Adewumi, "Radio Frequency Identification (RFID) Based Voting System Using Internet of Thing," vol. 13, no. 1, hlm. 12–21, 2025.
- [19] M. Nagasri, V. Hareessh Naidu, Y. Krishna Sri, G. Ajay, dan P. Pravalika, "IOT RFID ELECTRONIC VOTING MACHINE," 2022.
- [20] P. SISTEM -M Febriansyah, T. Wahyu Widyaningsih, F. Angellia, dan M. Febriansyah, "PENGEMBANGAN SISTEM E-VOTING MENGGUNAKAN FINGER PRINT DAN LCD DEVELOPMENT OF E-VOTING SYSTEM USING FINGER PRINT AND LCD," vol. 11, no. 2, 2022.
- [21] F. Diny Hermawati dan M. Tahir, "Keamanan E-Voting Di Indonesia Melalui Pemanfaatan Kriptografi Pada Sistem AES (Advance Encryption Standard)," *Pendidikan Informatika*, 2023.
- [22] M. N. R. J. Alex Mathew, B. C. Prem Kumar, dan A. Professor, "IOT Based Fingerprint Voting System," 2022. [Daring]. Tersedia pada: www.ijcrt.org
- [23] C. H. Srilatha, D. C. Venigalla, dan ..., "Fingerprint-based biometric smart electronic voting machine using IoT and advanced interdisciplinary approaches," *E3S Web of ...*, 2024, [Daring]. Tersedia pada: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2024/37/e3sconf_icftest2024_01037/e3sconf_icftest2024_01037.html
- [24] Vinayachandra, K. G. Poornima, M. R. Rajeshwari, dan K. K. Prasad, "Arduino Based Authenticated Voting Machine (AVM) using RFID and Fingerprint for the Student Elections," *J Phys Conf Ser*, vol. 1712, 2020, [Daring]. Tersedia pada: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:234408751>
- [25] A. Nalluri, B. B. Teja, dan A. Balakrishna, "RFID and Fingerprint Recognition based Electronic Voting System for Real Time Application," *International Journal of Engineering Development and Research*, vol. 2, no. 4, hlm. 2321–9939, 2014, [Daring]. Tersedia pada: <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1404074.pdf>
- [26] N. J., "IoT Based Voting Machine with Fingerprint Verification," *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:248905525>
- [27] R. Athallah Aditya dan A. Setia Budi, "Prototipe Sistem Keamanan Parkir berbasis RFID dengan Protokol MQTT," vol. 7, no. 7, hlm. 3287–3295, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [28] A. pratama, S. Alim, S. Samsugi, dan S. Alim, "Implementasi Sistem Monitoring Lingkungan Pada Budidaya Tanaman Hidroponik Berbasis IoT," *Jurnal Informatika: Jurnal pengembangan IT (JPIT)*, vol. 9, no. 1, hlm. 97–101, 2024.