

RESEARCH ARTICLE

Sistem Parkir Pintar Berbasis IoT dengan *Mesh Network* pada Basement TULT

Muhammad Endy Rafif, Porman Pangaribuan* and Azam Zamhuri Fuadi

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, 40257, Jawa Barat, Indonesia

* Corresponding author: porman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Tingginya mobilitas dan keterbatasan lahan parkir di lingkungan kampus memerlukan solusi parkir yang efisien dan adaptif. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan Sistem Parkir Pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan metode *Mesh Network* pada area basement Gedung TULT. Sistem memanfaatkan empat mikrokontroler ESP32 yang saling terhubung menggunakan protokol ESP-NOW dalam topologi semi-mesh. Setiap node bertugas membaca data dari sensor ultrasonik dan mengirimkannya ke node pusat untuk ditampilkan pada OLED *display* serta platform web secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mentransmisikan data secara stabil dengan *delay* yang masih berada dalam batas toleransi. Faktor seperti penempatan node, jarak antar perangkat, dan kekuatan sinyal terbukti berpengaruh terhadap kualitas komunikasi. Sistem ini menunjukkan potensi untuk diterapkan dalam pengelolaan parkir modern di area terbatas dan dapat menjadi acuan bagi pengembangan sistem IoT serupa di lingkungan institusional maupun urban.

Key words: *Internet of Things*, sistem parkir pintar, ESPNOW, *mesh network*, *smart parking*.

Pendahuluan

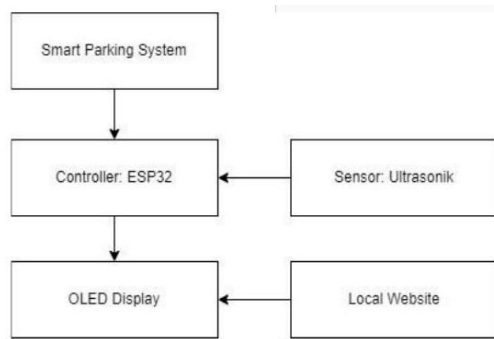
Tingginya mobilitas civitas akademika di lingkungan kampus modern mendorong perlunya solusi pengelolaan parkir yang efisien, khususnya di area dengan keterbatasan lahan seperti basement Gedung TULT Telkom University yang hanya menyediakan 50 slot parkir bagi ratusan dosen dan staf. Kondisi ini sering menyebabkan antrean dan pemborosan waktu akibat pencarian parkir secara manual. Berbagai penelitian sebelumnya telah mengusulkan *Smart Parking System* berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan sensor ultrasonik, microcontroller dan *mobile apps* [1] [2]. Namun, sebagian besar sistem tersebut masih sangat bergantung pada jaringan Wi-Fi dan layanan cloud, yang kurang ideal untuk area dengan keterbatasan sinyal seperti basement. Selain itu, aspek topologi jaringan-khususnya penerapan *mesh network* dan strategi penempatan node-belum banyak dikaji secara mendalam padahal berperan penting terhadap kestabilan komunikasi data. Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem parkir pintar berbasis ESP32 dengan protokol komunikasi ESP-NOW dalam topologi semi-mesh, yang mampu mengirimkan data status lahan parkir secara langsung antar perangkat tanpa memerlukan koneksi internet. Implementasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pemantauan parkir secara *real-time*, tetapi juga menunjukkan pendekatan yang lebih fleksibel dan hemat biaya untuk lingkungan dengan keterbatasan infrastruktur jaringan. Hasil dari studi ini diharapkan dapat menjadi acuan

teknis dalam pengembangan sistem parkir pintar yang mandiri dan adaptif untuk kampus maupun wilayah urban lainnya.

Tinjauan Pustaka

Mesh Network (ESP-NOW)

Mesh network adalah arsitektur jaringan terdesentralisasi yang memungkinkan komunikasi langsung antar node tanpa bergantung pada pusat jaringan. Dengan fitur seperti *selfhealing*, komunikasi multi-hop, dan distribusi beban data, topologi ini sangat cocok untuk sistem *Internet of Things* (IoT) berskala kecil hingga menengah, terutama di area dengan keterbatasan infrastruktur seperti basement. Dalam penelitian ini, digunakan protokol ESP-NOW-sebuah protokol ringan dari Espressif yang memungkinkan pertukaran data antar perangkat ESP32 secara langsung tanpa koneksi Wi-Fi maupun cloud. Meskipun tidak mendukung *dynamic routing* seperti protokol mesh penuh, ESP-NOW terbukti efisien untuk membangun komunikasi *peer-to-peer* dan multi-hop pada sistem parkir pintar dengan jumlah node terbatas. Pendekatan ini menawarkan solusi jaringan yang stabil, cepat, dan hemat biaya, serta relevan untuk implementasi sistem IoT di lingkungan *indoor* dengan hambatan fisik [3].



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Parkir Pintar

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan jaringan yang menghubungkan benda fisik melalui sensor, perangkat elektronik, dan konektivitas untuk memungkinkan komunikasi antar perangkat. Salah satu penerapan IoT adalah pada *Smart Parking System*, yaitu sistem otomatis yang memberikan informasi *real-time* tentang ketersediaan lahan parkir. Teknologi ini mendukung pemantauan jarak jauh, membantu pengendaraan menemukan slot kosong lebih cepat, serta meningkatkan efisiensi pengelolaan dan pemanfaatan lahan parkir secara optimal[5].

Mikrokontroler

ESP32 merupakan mikrokontroler dengan Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi yang mendukung komunikasi ESPNOW, memungkinkan pertukaran data antar perangkat tanpa koneksi internet. Prosesornya *dual-core* hingga 240 MHz dan mendukung antarmuka seperti GPIO, I2C, UART, dan PWM, sehingga cocok diintegrasikan dengan sensor ultrasonik dan OLED display. Bekerja pada tegangan 3.3 V dengan konsumsi arus 80 – 240 mA, ESP32 juga dilengkapi fitur keamanan seperti WPA2 dan enkripsi data, menjadikannya ideal untuk sistem IoT berbasis *Mesh Network* yang membutuhkan komunikasi efisien dan aman [6].

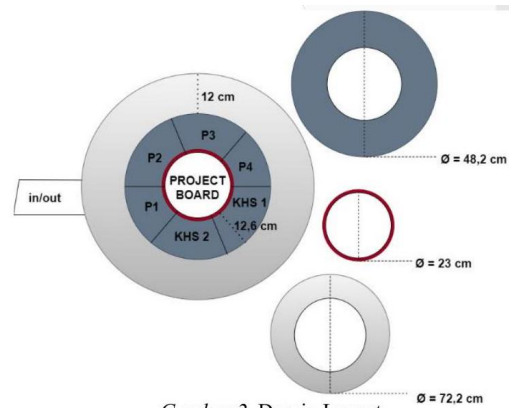
Sensor Ultrasonik

Sensor IoT digunakan untuk mengumpulkan data dari lingkungan fisik dan mengirimkannya ke sistem terhubung. Dalam proyek ini digunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi kendaraan pada slot parkir. Sensor ini bekerja dengan mengirimkan gelombang ultrasonik dan menghitung waktu pantul dari objek di depannya, mirip dengan prinsip ekolokasi kelelawar. Meski cukup akurat, pembacaan sensor dapat dipengaruhi oleh bentuk dan sudut objek, sehingga diperlukan kalibrasi agar hasil tetap stabil di lingkungan parkir yang dinamis [6].

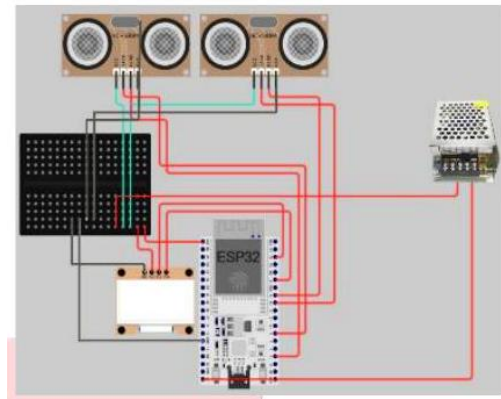
Metodologi Penelitian

Desain Solusi Sistem

Sistem parkir pintar yang dikembangkan pada penelitian ini dirancang untuk memberikan informasi ketersediaan slot parkir secara *real-time* dengan memanfaatkan perangkat IoT dan komunikasi nirkabel antar mikrokontroler. Sistem ini mengandalkan beberapa node ESP32 yang berfungsi membaca data dari sensor ultrasonik, mengolah informasi, serta mengirimkannya ke node pusat menggunakan protokol ESP-NOW. Informasi yang diterima kemudian ditampilkan melalui OLED display dan website lokal yang dapat diakses pengguna tanpa memerlukan koneksi internet eksternal. Untuk menggambarkan alur kerja sistem secara keseluruhan, digunakan sebuah diagram blok seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 2. Desain Layout



Gambar 3. Wiring Sistem parkir pintar

Gambar 2 menunjukkan desain *layout* sistem parkir pintar yang disimulasikan dalam bentuk melingkar untuk merepresentasikan enam lahan parkir yang mengelilingi area pusat perangkat. Bagian tengah dengan diameter 23 cm digunakan sebagai ruang untuk menyimpan seluruh alat seperti mikrokontroler ESP32, sensor ultrasonik, dan catu daya. Enam slot parkir ditata secara radial pada area berdiameter 48,2 cm, sementara batas luar sistem memiliki diameter 72,2 cm. Setiap lahan parkir dipantau oleh satu sensor ultrasonik yang menghadap langsung ke slot masing-masing untuk mendeteksi keberadaan kendaraan. Desain ini juga menyertakan jalur keluar-masuk kendaraan sebagai simulasi kondisi basement TULT. Penataan melingkar ini dipilih agar jangkauan sensor lebih merata dan memudahkan pengujian sistem secara efisien dalam ruang terbatas.

Rangkaian *hardware* pada prototipe sistem parkir pintar ditunjukkan pada Gambar 3, di mana dua pasang sensor ultrasonik HC-SR04 terhubung ke mikrokontroler ESP32 sebagai unit pengolah utama. Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi keberadaan kendaraan pada masing-masing slot parkir dengan mengukur jarak objek di depannya. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim ke ESP32 untuk diproses dan ditampilkan secara langsung pada OLED display berbasis I2C yang juga terhubung ke mikrokontroler. Seluruh komponen memperoleh suplai daya dari rangkaian catu daya eksternal yang ditampilkan di sisi kanan gambar. Rangkaian ini merepresentasikan salah satu node dalam sistem parkir berbasis IoT yang dapat beroperasi secara mandiri.

Gambar 4 memperlihatkan alur kerja sistem parkir pintar berbasis IoT di basement TULT. Proses dimulai saat kendaraan memasuki area parkir, lalu sensor ultrasonik mendeteksi keberadaan kendaraan dengan membaca jarak. Jika jarak yang terdeteksi kurang dari 6

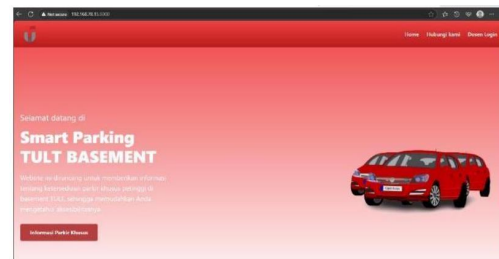


Gambar 4. Flowchart Perangkat IoT

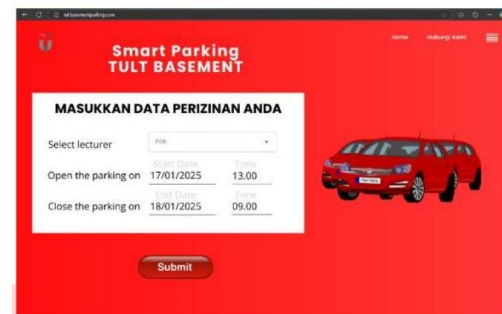


Gambar 5. Flowchart Alur akses Website Dosen Umum

cm untuk sensor 1-4 dan kurang dari 10 cm untuk sensor 5 dan 6, maka kendaraan dianggap terdeteksi dan status slot diubah menjadi "terisi". Mikrokontroler ESP32 kemudian memperbarui data tersebut dan menampilkannya ke OLED display. Jika kendaraan keluar dari slot, sistem akan mengubah status menjadi "kosong" dan kembali melakukan pemantauan secara *real-time*. Pada Gambar 5 menunjukkan flowchart alur akses situs web dosen umum yang dimulai saat pengguna mendekati area parkir. Pengguna mengakses situs untuk



Gambar 6. Tampilan Beranda Website



Gambar 7. Tampilan Data perizinan dosen

mengecek ketersediaan lahan parkir khusus petinggi. Jika tersedia dan diizinkan, pengguna bisa parkir di sana; jika tidak, akan diarahkan ke lahan parkir umum.

Desain User Interface Situs web

UI berperan sebagai penghubung utama antara pengguna dan sistem, memastikan informasi tersampaikan dengan mudah dan efisien. Desain UI yang intuitif memudahkan pengguna memahami data, seperti status parkir, melalui elemen visual yang sederhana dan informatif. Dengan menyajikan data *real-time* dalam format yang mudah dipahami, UI mendukung pengambilan keputusan cepat, meningkatkan efisiensi, dan memberikan pengalaman pengguna yang optimal. Pada Gambar 6 terlihat tampilan beranda dari sistem *Smart Parking Basement TULT*. Halaman ini menyajikan menu utama yang mudah diakses oleh pengguna. Salah satu menu utama yang tersedia adalah 'Informasi Parkir Khusus'. Menu ini dibuat untuk pengguna yang bisa diakses setelah dicek melalui informasi parkir khusus.

Pada Gambar 7 menunjukkan tampilan data perizinan parkir yang dapat diakses oleh petinggi untuk mengelola izin penggunaan tempat parkir khusus. Pada halaman ini, petinggi dapat memilih nama dosen yang akan diberikan izin untuk menggunakan tempat parkir khusus. Selain itu, mereka dapat mengatur waktu parkir dengan membuka akses parkir pada jam dan tanggal tertentu, serta menutupnya sesuai dengan jadwal yang diinginkan. Fitur ini memberikan fleksibilitas bagi petinggi untuk mengatur kapan parkir khusus dapat digunakan oleh dosen umum.

Pada Gambar 8 menampilkan menu "Parkir Khusus" yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan pengguna kendaraan umum dalam mencari lahan parkir alternatif saat lahan parkir umum sudah penuh. Fitur ini memungkinkan pengguna untuk mengetahui informasi dari petinggi apakah di perbolehkan parkir di tempat parkir khusus atau tidak. Dengan demikian, pengguna dapat memastikan bahwa penggunaan lahan parkir khusus petinggi tetap sesuai dengan aturan yang berlaku dan tidak mengganggu pengguna lain.



Gambar 8. Tampilan Informasi Parkir Khusus



Gambar 9. Tampilan Kata Sandi Dosen Petinggi

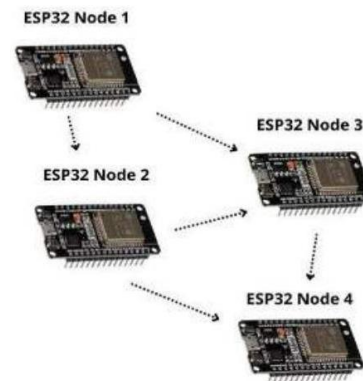


Gambar 10. Prototype Sistem Parkir Pintar area Basement TULT

Pada Gambar 9 menampilkan antarmuka khusus bagi dosen petinggi yang memungkinkan mereka memilih nama melalui *drop-down* dan memasukkan kata sandi untuk menginput data perizinan serta mengonfirmasi perubahan status lahan parkir pribadinya menjadi "Diizinkan". Fitur ini berfungsi sebagai mekanisme verifikasi sebelum sistem memperbarui informasi slot parkir khusus, sehingga dosen petinggi tetap memiliki kontrol penuh atas lahannya, sekaligus menjaga aspek keamanan dan privasi pengguna.

Table 1. Estimasi *Delay* Komunikasi ESP-NOW

No	Node Pengirim	Node Penerima	Jarak (cm)	Rata-Rata <i>Delay</i> (ms)
1	ESP1	ESP2	430	389
2	ESP2	ESP3	430	409
3	ESP3	ESP4	1620	462
4	ESP1	ESP4	2480 (total)	1264



Gambar 11 Topologi Semi-Mesh Menggunakan ESP-NOW

Gambar 11. Topologi Semi-Mesh Menggunakan ESP-NOW

Hasil dan Pembahasan

Implementasi *Mesh Network* (ESP-NOW)

Gambar 10 Prototype Sistem Parkir Pintar area Basement TULT Implementasi *mesh network* berbasis protokol ESP-NOW dilakukan dengan menyusun empat ESP32 dalam topologi semi-mesh untuk membentuk jalur komunikasi multi-hop dari sensor ke unit tampilan OLED. Pengujian difokuskan pada evaluasi efektivitas komunikasi data antar node, yang meliputi pengukuran *delay*, kestabilan transmisi, dan dampak jarak terhadap performa jaringan. Hasil pengujian pada tabel 1 menunjukkan bahwa sistem mampu mentransmisikan data sensor dari ESP1 hingga ESP4 sejauh total 2480 cm dengan *delay* kumulatif rata-rata 1264 ms. Setiap hop menunjukkan *delay* yang masih dalam batas toleransi sistem non-kritis, yaitu 389 ms (ESP1 → ESP2), 409 ms (ESP2 → ESP3), dan 462 ms (ESP3 → ESP4). Meskipun terjadi peningkatan *latency* seiring bertambahnya jumlah hop, komunikasi antar perangkat tetap stabil dan konsisten tanpa kehilangan paket. Hal ini menunjukkan bahwa topologi semimesh dengan protokol ESP-NOW efektif untuk skenario komunikasi *low-power*, *low-bandwidth* dalam ruang *indoor* seperti *basement*.

Penggunaan multi-hop memungkinkan perluasan jangkauan tanpa perlu penguat sinyal tambahan, sedangkan struktur mesh memberikan fleksibilitas dalam penempatan node (Gambar 11). Secara keseluruhan, pengujian membuktikan bahwa arsitektur mesh berbasis ESP-NOW dapat menjadi solusi andal dan efisien untuk sistem parkir pintar di lingkungan dengan keterbatasan infrastruktur jaringan.

Implementasi Website

Website sistem parkir pintar yang dikembangkan menggunakan framework Laravel sebagai backend utama. Laravel dipilih karena memiliki struktur yang rapi, mendukung arsitektur MVC (*Model-View-Controller*), serta memudahkan proses *routing*, manajemen data, dan pengolahan logika sistem. Website ini berfungsi sebagai antarmuka monitoring dan kontrol sistem parkir, di mana status tiap slot parkir dikirim oleh

mikrokontroler dan ditampilkan secara *real-time* kepada pengguna. Terdapat dua jenis akses pada website ini, yaitu untuk pengguna umum yang hanya dapat melihat status ketersediaan lahan parkir, serta akses khusus petinggi yang memungkinkan pemberian izin parkir sementara melalui form yang tersedia. Data yang ditampilkan di website diambil dari hasil komunikasi antar node ESP32 menggunakan protokol ESP-NOW, lalu diteruskan ke ESP32 webserver yang menghubungkannya ke sistem Laravel. Website ini tidak bergantung pada layanan cloud seperti Firebase, melainkan beroperasi secara lokal dalam jaringan tertutup. Dengan integrasi ini, pengguna dapat memantau kondisi parkir secara langsung dan administrator (petinggi) dapat mengatur akses izin parkir sesuai kebutuhan.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem parkir pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan topologi *mesh network* menggunakan protokol ESP-NOW yang diimplementasikan pada area basement Gedung TULT. Sistem terdiri dari enam sensor ultrasonik yang tersebar pada tiga node pengukur dan satu node tampilan OLED, dengan kemampuan mendeteksi status lahan parkir secara fungsional dan *real-time*. Saat hanya komunikasi ESP-NOW yang aktif, tampilan status di OLED menunjukkan rata-rata *delay* sekitar 5 detik. Namun, ketika sistem dijalankan paralel dengan komunikasi ke website, terjadi peningkatan signifikan, yaitu hingga 19,93 detik pada Sensor 2 dan 27,09 detik pada Sensor 5. Dalam pengujian performa topologi jaringan, jarak ESP1 ke ESP2 dan ESP2 ke ESP3 yang masing-masing 430 cm menghasilkan *delay* rata-rata 389 ms dan 409 ms, sedangkan ESP3 ke ESP4 dengan jarak 1620 cm mencatat *delay* 462 ms-seluruhnya

masih dalam kategori "Cukup" (150 – 500 ms). Namun, total jalur dari ESP1 ke ESP4 (2480cm, dua hop) menghasilkan *delay* 1264 ms, yang masuk kategori "Buruk" (> 1000 ms). Sebaliknya, antarmuka web mampu menampilkan status parkir dengan *delay* rata-rata kurang dari 1 detik, menjadikannya lebih responsif untuk kebutuhan pemantauan. Secara keseluruhan, sistem terbukti fungsional, namun aspek optimasi komunikasi-khususnya penempatan node dan pembagian beban kerja antar ESP32-masih perlu ditingkatkan untuk mencapai performa ideal di kondisi kerja paralel.

Daftar Pustaka

1. Fakultas Teknik Elektro. Dosen Fakultas Teknik Elektro; 2024. Accessed: Dec. 29, 2024. <https://see.telkomuniversity.ac.id/dosen/>.
2. Fakultas Informatika. Fakta Fakultas Informatika Telkom University; 2024. Accessed: Dec. 29, 2024. <https://soc.telkomuniversity.ac.id/>.
3. Fakultas Rekayasa Industri. Dosen Fakultas Rekayasa Industri; 2024. <https://sie.telkomuniversity.ac.id/>.
4. Protonest IoT. Automating Node Integration in ESP-NOW Mesh Networks with ESP32; 2024. Accessed: Dec. 29, 2024. <https://protonestiot.medium.com/automating-node-integration-in-esp-now-mesh-networks-with-esp3273bc9c0baa3f>.
5. Koten GR, et al. Penerapan Internet of Things pada Smart Parking System untuk Kebutuhan Pengembangan Smart City. Jurnal Teknik Industri dan Manajemen Rekayasa. 2023 Jun;1(1):49-59.
6. Andryanto LN, Ridzwan ANS, Rachma RDT, Tio A, Taslim MSM, Wardana NM. Perancangan Blind Stick Berbasis ESP32; 2024.