



Evaluasi Sistematis dan Kompatibilitas Perangkat *Smart Parking System* untuk Lingkungan Akademik

Adnan Prabandaru^{1*}, Hendra Setiawan²

^{1,2}Magister Rekayasa Elektro, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

Email: 24925004@students.uii.ac.id¹, hendra.setiawan@uui.ac.id²

*Penulis Korespondensi: 24925004@students.uii.ac.id

Abstract. *The limitation of parking space in Indonesian campuses has become a serious challenge as the increasing number of vehicles is not proportional to the available land area. This study aims to evaluate the systematics and compatibility of various smart parking system technologies as a solution for efficient parking management in academic environments. The research method employed is a literature review of publications from 2013–2024 covering the use of infrared sensors, ultrasonic sensors, cameras, and RFID. The evaluation is based on technical aspects, installation complexity, user capacity, environmental reliability, and investment cost factors. The results indicate that technology selection is highly dependent on specific campus characteristics. Infrared and ultrasonic sensors are the most economical solutions, with a price range of Rp 500,000 to Rp 700,000 per unit, making them ideal for small campuses with limited budgets. Meanwhile, ANPR camera and RFID technologies offer real-time monitoring and higher security features suitable for large campuses with high mobility, despite requiring investment costs of up to Rp 30,000,000 per unit and more complex network infrastructure. This study concludes that an adaptive approach through a combination of technologies can optimize parking efficiency and support environmental sustainability on campus.*

Keywords: *Camera; Infrared; RFID; Smart Parking; Ultrasonic.*

Abstrak. Keterbatasan lahan parkir di kampus-kampus Indonesia menjadi tantangan serius seiring meningkatnya jumlah kendaraan yang tidak sebanding dengan luas lahan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi sistematis dan kompatibilitas berbagai teknologi sistem parkir cerdas sebagai solusi efisiensi manajemen parkir di lingkungan akademik. Metode penelitian yang digunakan adalah studi pustaka terhadap literatur terbitan tahun 2013-2024 yang mencakup penggunaan sensor inframerah, ultrasonik, kamera, dan RFID. Evaluasi dilakukan berdasarkan aspek teknis, kompleksitas instalasi, kapasitas pengguna, keandalan terhadap lingkungan, serta faktor biaya investasi. Hasil kajian menunjukkan bahwa pemilihan teknologi sangat bergantung pada karakteristik spesifik kampus. Sensor inframerah dan ultrasonik merupakan solusi paling ekonomis dengan rentang harga Rp500.000 hingga Rp700.000 per unit, sehingga ideal untuk kampus kecil dengan anggaran terbatas. Sementara itu, teknologi kamera ANPR dan RFID menawarkan fitur monitoring *real-time* dan keamanan lebih tinggi yang cocok untuk kampus besar dengan mobilitas padat, meskipun membutuhkan biaya investasi mencapai Rp30.000.000 per unit serta infrastruktur jaringan yang lebih kompleks. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pendekatan adaptif melalui kombinasi teknologi dapat mengoptimalkan efisiensi parkir dan mendukung keberlanjutan lingkungan di kampus.

Kata Kunci: Inframerah; Kamera; Parkir Cerdas; RFID; Ultrasonik.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah mobil di Indonesia menunjukkan angka yang cukup besar, menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) peningkatan jumlah mobil mencapai angka 1 juta unit mobil per tahun, tercatat hingga tahun 2022 jumlah mobil penumpang adalah 17.168.862 unit atau jumlah mobil mengalami pertumbuhan sekitar 5% per tahun (Badan Pusat Statistik [BPS], n.d.). Pertumbuhan jumlah kendaraan yang sangat pesat tidak seimbang dengan jumlah lahan parkir yang tersedia. Masyarakat dihadapkan pada masalah sulitnya menemukan tempat parkir untuk kendaraannya, hal tersebut memiliki dampak besar pada kualitas hidup masyarakat yang dipengaruhi oleh memeningkatkan emisi gas rumah kaca, kemacetan lalu lintas, keterlambatan

dalam beraktivitas dan frustrasi. Berdasarkan hasil penelitian INRIX, pengemudi kendaraan dapat menghabiskan 44 jam per tahun hanya untuk mencari tempat parkir kosong (INRIX, n.d.-a). Kemacetan dan pencarian lahan parkir menyumbang hampir 45% dari biaya kepemilikan kendaraan dilihat dari biaya perawatan dan bahan bakar (INRIX, n.d.-b). Penelitian terbaru juga mencatat hingga 8,9 juta kematian setiap tahun disebabkan oleh polusi udara, yang sebagian disumbang oleh toksisitas gas buang kendaraan (Miller & Newby, 2020).

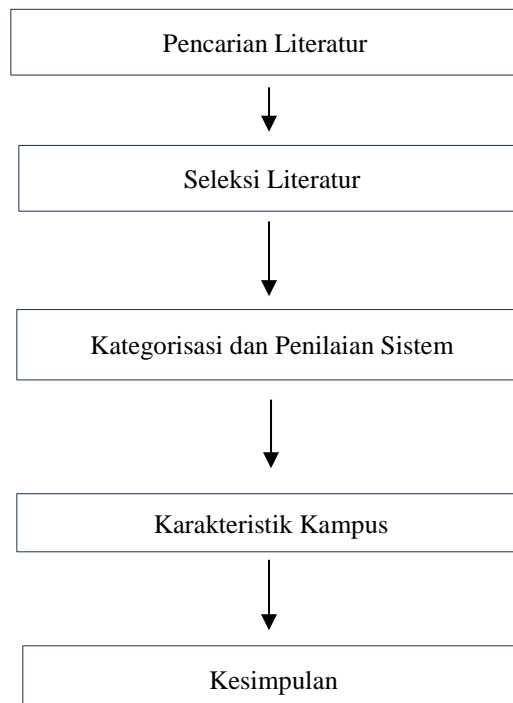
Permasalahan mengenai tempat parkir dan dampak dari permasalahan tersebut memunculkan ide-ide untuk mulai mempertimbangkan teknologi sebagai solusi. Beberapa penelitian yang telah dilakukan memberikan berbagai macam hasil studi mengenai sistem parkir cerdas atau *smart parking system* untuk mengatasi permasalahan parkir menggunakan teknologi. Teknologi memainkan peran penting dalam menghubungkan objek-objek di lingkungan sekitar ke sebuah jaringan dan memudahkan akses terhadap objek-objek dari lokasi manapun (Rindhe et al., 2020). Sistem parkir cerdas dapat memberikan data mengenai ketersediaan tempat parkir kepada pengemudi atau pengguna secara *real time* dan dapat diakses dimana saja. Penelitian yang telah ada menyebutkan terdapat beberapa solusi yang dapat diterapkan saat menggunakan teknologi untuk mendapatkan data ketersediaan tempat parkir secara *real time*. Sistem yang digunakan untuk mengembangkan sistem parkir cerdas ini sangat bervariasi, mulai dari penggunaan sensor infrared seperti yang diterapkan Rindhe et al., (2020), Kadir et al. (2020) dan Joshi et al., (2020). Sensor ultrasonik yang diterapkan Aziz et al., (2022) dan Allbadi et al. (2020). Visualisasi kamera yang diterapkan Elomiya et al. (2023) dan Ditta et al. (2025). Dan terakhir RFID yang diterapkan oleh Patil & Bhonge, (2013) dan Saeliw et al., (2019).

Penelitian mengenai sistem parkir cerdas sudah banyak dilakukan dalam berbagai lingkungan, namun sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada kawasan perkotaan, pusat perbelanjaan, atau gedung perkantoran. Maka diperlukan kajian berupa studi pustaka yang membahas secara komprehensif mengenai sistem parkir cerdas di area kampus yang memiliki karakteristik lingkungan berbeda dengan penelitian yang telah ada. Masalah mengenai tidak seimbangnya tempat parkir di kampus terjadi karena peningkatan jumlah mahasiswa dan staf yang tidak sebanding dengan pertumbuhan kapasitas lahan parkir. Menurut data dari Pangkalan Data Pendidikan Tinggi (PDDikti) hingga tahun 2024 jumlah mahasiswa di seluruh Indonesia sebesar 9.258.251 mahasiswa (Pangkalan Data Pendidikan Tinggi [PDDIKTI], n.d.). Apabila diasumsikan bahwa 10% dari jumlah mahasiswa di Indonesia memakai mobil ke kampus, maka populasi mobil menyentuh angka 900.000 mobil tersebar di kampus seluruh Indonesia. Kampus dengan populasi yang padat sering menghadapi permasalahan kekurangan

lahan parkir, berujung pada waktu yang lama untuk mencari tempat parkir kosong dan mengakibatkan keterlambatan masuk ke dalam kelas maupun untuk bekerja. Dengan karakteristik yang unik dan berbeda, maka diperlukan kajian mengenai sistem parkir cerdas yang sesuai dengan lingkungan kampus. Kajian ini diharapkan dapat digunakan sebagai pedoman oleh pengelola kampus dalam memilih arsitektur sistem parkir cerdas di area kampus. Sehingga dapat ditemukan solusi untuk membuat sistem manajemen parkir dengan efektif dan efisien mengatasi permasalahan parkir yang terjadi.

2. METODE PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan dari jurnal studi pustaka ini, maka penulis mencari literatur jurnal penelitian mengenai sistem parkir cerdas. Pengumpulan literatur ini secara umum berfokus pada jurnal yang membahas teknologi parkir berbasis teknologi sensor yang memberikan data secara *real time*. Literatur yang dikumpulkan memberikan gambaran secara umum kepada penulis mengenai teknologi sistem parkir cerdas. Literatur dari penelitian sebelumnya dikumpulkan untuk proses seleksi, pengkategorian, dan memberikan penilaian terhadap beberapa sensor dan perangkat dari penelitian sebelumnya. Berikut tahapan-tahapan kajian pustaka ditunjukkan pada gambar 1.



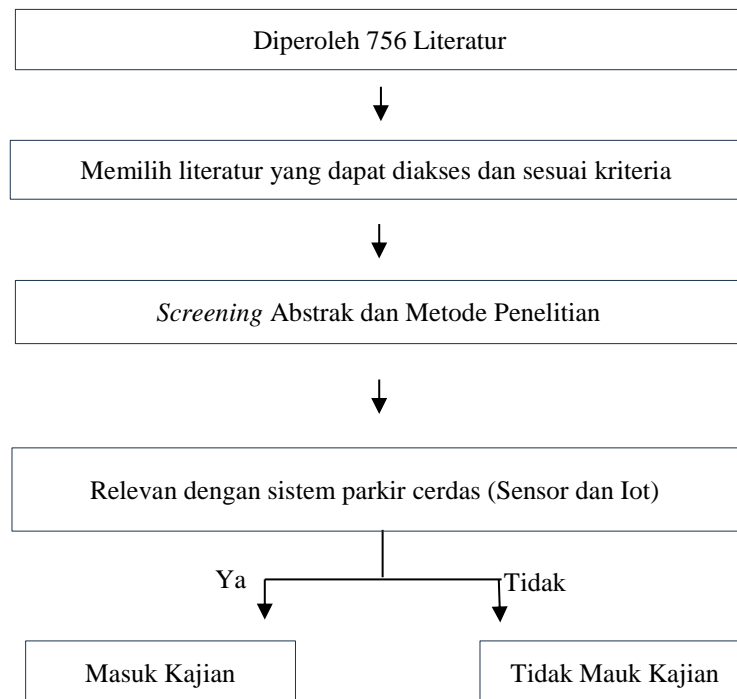
Gambar 1. Tahapan Studi Pustaka.

Pencarian Literatur

Literatur yang dikumpulkan dalam kajian pustaka ini berasal dari dua database utama yaitu *Google Scholar* dan *ScienceDirect*. Kedua database ini dipilih karena mereka menyediakan akses ke artikel-artikel ilmiah yang kredibel dan terbaru mengenai sistem parkir cerdas, sensor, IoT, serta teknologi terkait. Literatur yang digunakan adalah literatur yang terbit antara tahun 2013-2024. Dalam pencarian ini, penulis menggunakan kata kunci yang relevan dengan topik yaitu “*Smart Parking System Sensor*”.

Seleksi Literatur

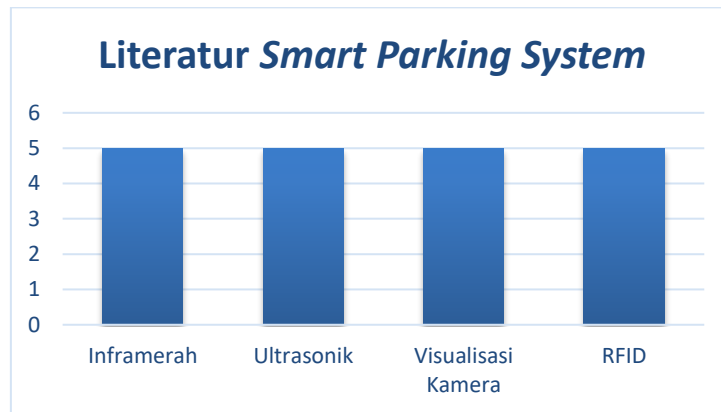
Setelah pencarian literatur, penulis melakukan seleksi untuk memastikan bahwa artikel-artikel yang ditemukan relevan dengan topik studi pustaka, yakni tentang sensor dan Internet of Things untuk *smart parking system*. Literatur yang dipakai merupakan literatur yang dapat diakses secara terbuka oleh penulis, kemudian dilakukan seleksi dengan membaca abstrak dan metode penelitian sebelum mengkajinya lebih dalam. Hasil penelusuran dan seleksi diperoleh 20 dari 756 literatur yang membahas mengenai sistem parkir cerdas sesuai kriteria penulis. Proses seleksi ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Alur Tahap Seleksi Literatur.

Kategorisasi dan Penilaian Sensor

Pada tahap ini, penulis mengkategorikan sistem yang digunakan dari literatur yang telah dikumpulkan dan diseleksi. Setiap jenis sistem dikaji berdasarkan perangkat untuk memperoleh informasi mengenai ketersediaan tempat parkir kosong secara *real-time*. Pengelompokan sistem parkir cerdas dilakukan berdasarkan perangkat yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.

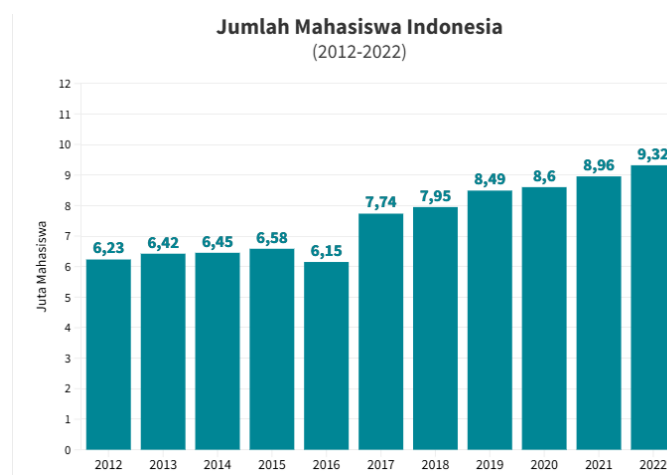


Gambar 3. Jumlah Literatur Terseleksi.

Sistem parkir cerdas yang diperoleh dari literatur kemudian dikaji berdasarkan struktur sistem parkir cerdas, karakteristik sistem parkir cerdas, serta kesesuaian karakteristik sistem parkir cerdas dengan karakteristik kampus di Indonesia.

Karakteristik Kampus di Indonesia

Karakteristik kampus di Indonesia umumnya mencerminkan jumlah pengguna, keterbatasan lahan, serta dipengaruhi oleh biaya yang diinvestasikan untuk fasilitas perkuliahan. Jumlah mahasiswa di Indonesia memiliki tren yang cenderung selalu bertambah setiap tahunnya (Gambar 4).



Gambar 4. Jumlah Pertumbuhan Mahasiswa Tahun 2012-2022.

Sumber: Data Indonesia, (2022)

Pertumbuhan jumlah mahasiswa tersebut berbanding terbalik dengan luas area kampus khususnya untuk lahan parkir yang cenderung konstan. Luas area kampus di Indonesia sangat bervariasi tergantung pada universitas dan lokasi masing-masing kampus. Sebagai contoh Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta memiliki luas lahan 300 Ha, kampus Universitas Indonesia, Depok memiliki luas lahan 320 Ha, kemudian Universitas Islam Indonesia memiliki luas lahan 50 Ha. Luas kampus yang bervariasi tersebut sangat mempengaruhi fasilitas yang tersedia, khususnya lahan untuk fasilitas parkir. Berdasarkan Keputusan direktur jenderal perhubungan darat (DRJD) nomor: 272/HK.105/DRJD/96, ketersediaan tempat parkir di kampus yang ideal adalah sejumlah 2% dari jumlah mahasiswa kampus tersebut. Sebagai contoh Universitas Brawijaya yang memiliki jumlah mahasiswa terbanyak di Indonesia sejumlah 55.332 mahasiswa (GoodStats, n.d.), idealnya harus memiliki 1.107 tempat parkir. Namun, perlu diperhatikan bahwa contoh tersebut hanya memberikan gambaran umum, mengingat jumlah mahasiswa dapat sangat bervariasi, mulai dari beberapa ratus hingga puluhan ribu, tergantung pada kapasitas dan skala kampus tersebut.

Selain luas lahan dan jumlah mahasiswa, biaya perkuliahan di Indonesia juga sangat bervariasi. Menurut data dari PDDikti biaya perkuliahan paling mahal berada pada *range* Rp 10.000.000,00 hingga 32.000.000,00 per semester, kemudian biaya menengah untuk program reguler berada pada *range* Rp 4.000.000,00 hingga Rp 15.000.000,00 per semester, dan untuk kampus biaya kuliah rendah berada pada *range* Rp 500.000,00 hingga Rp 10.000.000,00 per semester tergantung pada program studi yang diambil. Biaya kuliah sangat berpengaruh pada biaya investasi untuk memenuhi fasilitas di kampus, walaupun biaya tersebut harus dihitung berdasarkan rasio jumlah mahasiswa yang dimiliki.

Luas lahan, jumlah mahasiswa, dan biaya perkuliahan sangat berpengaruh terhadap pengembangan fasilitas parkir kampus. Dengan karakteristik yang bervariasi, setiap kampus dapat memperkirakan penggunaan parkir cerdas sesuai dengan sistem dan biaya investasi yang tersedia.

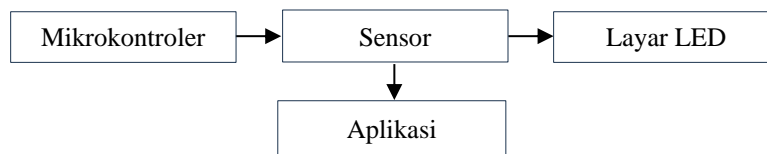
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Sistem Parkir Cerdas

Struktur Sistem Parkir Cerdas Menggunakan Sensor

Sensor yang sering digunakan untuk sistem parkir cerdas pada penelitian yang telah ada adalah sensor inframerah dan sensor ultrasonik. Penggunaan sensor inframerah untuk sistem parkir cerdas adalah dengan cara mengukur dan mendeteksi perbedaan radiasi inframerah di lingkungan sekitarnya (Bachania et al., 2016). Dengan cara kerja yang hampir sama, sensor

ultrasonik bekerja dengan mengirimkan ritme reguler gelombang ultrasonik dan menghitung waktu yang diperlukan untuk gema kembali terekam ke sensor (Joshi et al., 2020). Data monitoring dari sensor inframerah dan ultrasonik dikirim ke mikrokontroler untuk mendeteksi apakah suatu tempat parkir masih kosong atau telah terisi sesuai input data yang telah ditentukan. Data dari mikrokontroler kemudian divisualisasikan pada LCD atau sistem aplikasi untuk memberikan informasi mengenai status parkir seperti Gambar 4. Pada pengaplikasiannya sensor dipasang pada keseluruhan slot parkir yang ingin di monitoring seperti gambar 5 dan gambar 6.

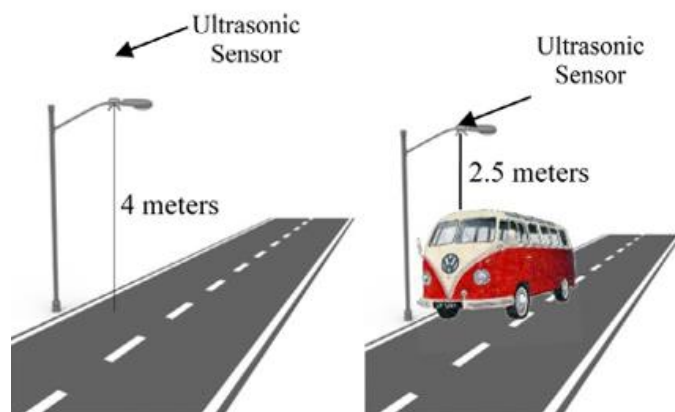


Gambar 4. Sistem Sistem Parkir Cerdas Menggunakan Sensor.



Gambar 5. Prototipe Sistem Parkir Cerdas Menggunakan Sensor Inframerah.

Sumber: Bachania et al. (2016)

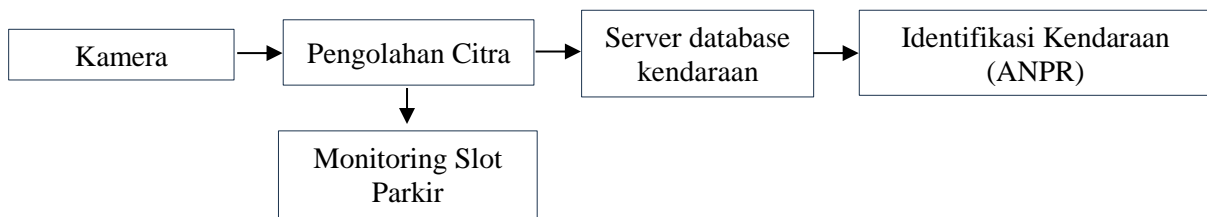


Gambar 6. Ilustrasi Aplikasi Sensor Ultrasonik untuk Sistem Parkir Cerdas

Sumber: Appiah et al. (2020)

Struktur Sistem Parkir Cerdas Menggunakan Kamera

Sistem parkir cerdas menggunakan kamera dapat digunakan untuk melakukan monitoring ketersediaan tempat parkir dan identifikasi kendaraan. Kamera menangkap gambar atau video secara kontinyu untuk memberikan data yang akan diolah oleh sistem algoritma yang digunakan. Untuk monitoring slot parkir kosong, kamera menggunakan algoritma pengolahan citra seperti TensorFlow oleh Jabbar et al. (2021) dan *Region-based Convolutional Neural Network* R-CNN oleh Hudda et al. (2024) untuk monitoring tempat parkir kosong atau terisi. Selain itu kamera juga dapat digunakan untuk identifikasi kendaraan parkir secara spesifik yang disebut dengan *Automatic Number Plate Recognition* (ANPR). ANPR adalah teknologi pemrosesan citra yang dapat menangkap gambar kendaraan, lalu diekstrak menjadi informasi pelat nomor kendaraan, dan diterjemahkan dalam format yang dapat dibaca algoritma, menjadi seperti string teks, yang kemudian dapat diproses dan diindeks ke dalam basis data dari Tang et al., (2022) seperti sistematis pada gambar 7. Pengaplikasian kamera harus optimal untuk jangkauan visualisasi yang maksimal seperti pada gambar 8 dan gambar 9.



Gambar 7. Sistematis Sistem Parkir Cerdas Menggunakan Kamera.



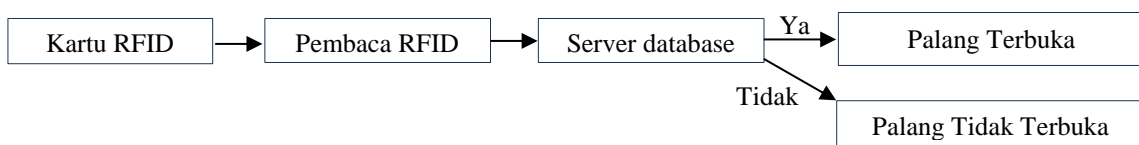
Gambar 8. Contoh Aplikasi Kamera untuk Monitoring Slot Parkir Kosong.
Sumber: Hudda et al. (2024)



Gambar 9. Contoh Aplikasi Kamera untuk Identifikasi Pelat Kendaraan.
Sumber: Tang et al. (2022)

Struktur Sistem Parkir Cerdas Menggunakan RFID

RFID merupakan teknologi berbasis frekuensi radio yang memungkinkan untuk mengidentifikasi objek melalui gelombang radio (Patil & Bhonge, 2013). RFID digunakan untuk mengidentifikasi kendaraan secara spesifik di gerbang pintu parkir sesuai database yang dimiliki sistem manajemen parkir (Thorat et al., 2017). Sistem ini terdiri dari kartu RFID, pembaca RFID, server database RFID, kontroler, dan palang pintu parkir. Sistem ini bekerja dengan mendekati kartu RFID pada pembaca RFID di pintu masuk parkir, selanjutnya pembaca RFID akan mengirim data ke server database untuk melakukan validasi, jika valid maka kontroler akan membuka palang pintu parkir dan mencatat waktu masuk kendaraan seperti yang ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Sistematika Sistem Parkir Cerdas Menggunakan RFID.

Karakteristik Sistem Parkir Cerdas

Harga dan Instalasi Sistem Parkir Cerdas

Harga dan kompleksitas instalasi sistem sensor, kamera, dan RFID dalam sistem parkir cerdas sangat bervariasi tergantung pada spesifikasi teknis, kebutuhan sistem, serta skala implementasi. Masing-masing perangkat memiliki tingkat biaya dan kompleksitas yang berbeda, baik dari segi perangkat keras, perangkat lunak, maupun integrasi sistemnya seperti pada Tabel 1, 2, dan 3.

Sensor Inframerah dan ultrasonik yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan kendaraan cenderung memiliki harga yang lebih terjangkau dibandingkan kamera atau RFID. Biaya unit sistem parkir menggunakan sensor berkisar Rp. 500.000,00 hingga Rp. 700.000,00 per unit, tergantung pada jangkauan dan kualitasnya. Instalasi sensor relatif sederhana hingga sedang, terutama untuk sensor individu yang dipasang pada setiap slot parkir. Namun, jika jumlah sensor yang dibutuhkan sangat besar, biaya total dan kebutuhan kabel atau jaringan dapat meningkat secara signifikan. Sistem ini juga memerlukan penyesuaian dan kalibrasi untuk memastikan akurasi deteksi yang optimal, terutama dalam lingkungan yang berubah-ubah seperti area luar ruangan.

Kamera untuk sistem parkir cerdas, terutama yang mendukung teknologi ANPR, memiliki biaya lebih tinggi dibandingkan sensor. Harga kamera berkisar dari Rp 4.000.000,00 hingga Rp 20.000.000,00 per unit, tergantung pada resolusi, kemampuan pencitraan malam, dan fitur seperti *wide range camera*. Selain biaya perangkat keras, biaya perangkat lunak pengenalan pelat nomor dan server untuk pengolahan data juga menambah anggaran. Instalasi kamera termasuk kompleks, membutuhkan keahlian lebih karena harus ditempatkan pada sudut yang optimal untuk monitoring keberadaan kendaraan dan menangkap pelat nomor secara akurat. Sistem ini memerlukan sumber daya listrik dan koneksi jaringan yang mumpuni dan stabil. Kamera juga memerlukan perawatan berkala untuk memastikan lensa selalu bersih dan perangkat tetap berfungsi dalam kondisi cuaca ekstrem

Sistem parkir menggunakan RFID terdiri dari pembaca RFID, tag RFID, perangkat lunak manajemen, dan palang pintu parkir. Harga sistem parkir cerdas RFID bervariasi, mulai dari harga Rp 10.000.000,00 hingga Rp 30.000.000,00 per unit. Instalasi sistem RFID relatif kompleks, memerlukan penyesuaian pada kendaraan atau kartu pengguna agar tag RFID dapat dikenali dengan baik. Namun, di lingkungan dengan banyak logam atau interferensi elektromagnetik, instalasi pembaca RFID memerlukan perhatian khusus untuk meminimalkan gangguan sinyal.

Tabel 1. Rubrik Harga Sistem.

Kategori	Rentang Harga (Rp)
Murah	0 – 4.000.000
Sedang	4.000.000 – 10.000.000
Mahal	10.000.000 ke atas

Tabel 2. Rubrik Kompleksitas Instalasi Sistem.

Kompleksitas	Kriteria	Contoh kebutuhan
Sederhana	Instalasi cepat dan sederhana. Tidak memerlukan penyesuaian besar atau infrastruktur tambahan.	- Pemasangan langsung. - Peralatan dasar tanpa konfigurasi teknis khusus.
Sedang	Instalasi membutuhkan beberapa penyesuaian atau konfigurasi, tetapi tidak memerlukan infrastruktur besar.	- Penyesuaian lokasi. - Pengaturan sederhana untuk meningkatkan kinerja atau akurasi.
Kompleks	Instalasi membutuhkan infrastruktur tambahan atau jaringan. Memerlukan pengaturan teknis yang lebih rumit.	- Kebutuhan jaringan atau perangkat tambahan. - Penempatan strategis untuk cakupan optimal.

Tabel 3. Harga Dan Kompleksitas Instalasi Perangkat Sistem Parkir Cerdas.

Aspek	Inframerah	Ultrasonik	Kamera/ANPR	RFID
Harga	Murah	Murah	Sedang - Mahal	Mahal
Kompleksitas Instalasi	Mudah	Mudah - Sedang	Kompleks	Sederhana - Kompleks

Biaya dan instalasi ketiga perangkat tersebut juga dipengaruhi oleh kebutuhan integrasi ke sistem manajemen parkir secara keseluruhan. Misalnya, sistem berbasis IoT memerlukan investasi tambahan dalam infrastruktur jaringan, seperti *gateway* atau platform *cloud* untuk mengintegrasikan data dari sensor, kamera, dan RFID. Dengan demikian, perencanaan anggaran dan teknis yang matang sangat penting untuk memastikan setiap perangkat berfungsi optimal sesuai kebutuhan sistem parkir cerdas.

Kapasitas Penggunaan Sistem Parkir Cerdas

Sistem parkir cerdas yang memanfaatkan sensor, kamera, dan RFID menawarkan fleksibilitas dalam mendukung jumlah pengguna yang berbeda, tergantung pada kapasitas sistem dan desain infrastruktur. Dengan teknologi sensor inframerah atau sensor ultrasonik, kendaraan yang diparkir dapat dideteksi secara *real-time*, memungkinkan pengelola parkir untuk mengetahui kapasitas yang tersedia. Kamera memberikan verifikasi visual untuk kendaraan yang memasuki atau meninggalkan area parkir, sedangkan RFID memungkinkan identifikasi otomatis kendaraan dengan menggunakan tag RFID yang terpasang pada kendaraan.

Sistem ini dapat disesuaikan untuk berbagai jumlah pengguna, mulai dari area parkir kecil hingga besar, dengan cara penambahan perangkat dalam meningkatkan kapasitas berdasarkan kebutuhan. Sensor menggunakan mikrokontroler seperti Arduino Uno dan ESP 32 atau STM 32 dapat dirangkai menjadi sistem dengan kapasitas 10 hingga 50 sensor (Arduino Indonesia, 2024; Ariat-Tech Blog, n.d.). Kemudian kamera berjenis wide angle camera dan PTZ memiliki kapasitas cakupan monitoring 30 meter hingga 200 meter persegi, yang dapat

memantau 30 hingga 50 slot parkir kendaraan, tergantung pada penempatan kamera dan sistem pemrosesan data yang digunakan (Reolink Blog, n.d.; Uniview, n.d.). Selanjutnya sistem parkir menggunakan RFID memiliki kapasitas yang paling besar hingga 100 – 3000 pengguna tergantung pada jenis dan jaringan sistem yang digunakan (Sistem Parkir, n.d.). Kapasitas perangkat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kapasitas Pengguna Sistem Parkir Cerdas.

Jenis Perangkat	Kapasitas Penggunaan per Unit
Inframerah dan Ultrasonik	10 - 50 Kendaraan.
Kamera	Luasan 30 m – 200 m persegi. 30 – 50 Kendaraan.
Sistem RFID	100 – 3000 Pengguna.

Keandalan Perangkat Sistem Parkir Cerdas terhadap Lingkungan

Keandalan perangkat sensor, kamera, dan RFID terhadap lingkungan sangat memengaruhi kinerja masing-masing perangkat dalam sistem parkir cerdas. Setiap jenis perangkat memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap faktor lingkungan, seperti suhu, kelembapan, cahaya, dan interferensi elektromagnetik seperti ditunjukkan pada Tabel 5, yang harus dipertimbangkan dalam desain dan implementasi sistem.

Sensor, seperti sensor ultrasonik atau inframerah, sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik di sekitarnya. Misalnya, sensor ultrasonik dapat terganggu oleh perubahan suhu ekstrem, hujan, atau objek bergerak lainnya di dekat area deteksi. Sensor inframerah juga memiliki keterbatasan jika digunakan dalam kondisi cahaya terang atau saat ada gangguan pantulan dari permukaan yang sangat reflektif. Selain itu, penempatan sensor harus dirancang sedemikian rupa agar tidak terhalang oleh kotoran, debu, atau endapan air yang dapat mengurangi akurasi deteksi. Oleh karena itu, kompatibilitas sensor dengan lingkungan sangat ditentukan oleh kualitas perangkat dan perlindungan tambahan, seperti casing tahan air atau debu.

Kamera, sebagai perangkat yang mengandalkan pengolahan data visual, lebih sensitif terhadap kondisi pencahayaan dan kualitas lingkungan fisik. Kamera yang digunakan dalam sistem parkir cerdas, terutama yang mendukung ANPR, membutuhkan pencahayaan yang optimal untuk membaca pelat nomor kendaraan secara akurat. Dalam kondisi minim cahaya atau di malam hari, kamera harus dilengkapi dengan teknologi inframerah atau *night vision*. Selain itu, cuaca buruk, seperti hujan deras, dan kabut, dapat mengurangi visibilitas dan mempengaruhi akurasi pengenalan gambar. Penempatan kamera juga harus mempertimbangkan potensi gangguan dari sumber cahaya langsung, seperti sinar matahari atau lampu kendaraan yang menyilaukan. Oleh karena itu, keandalan kamera terhadap lingkungan dapat ditingkatkan dengan penambahan perlindungan fisik, seperti pelindung anti air, dan perangkat lunak pengolahan gambar yang mampu mengurangi noise atau distorsi visual.

RFID, di sisi lain, memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap lingkungan. Perangkat pembaca RFID dan tag RFID dapat dipengaruhi oleh interferensi elektromagnetik dari perangkat elektronik lain di sekitarnya. Misalnya, di area parkir yang memiliki banyak kendaraan atau perangkat komunikasi nirkabel, sinyal RFID dapat terganggu, terutama jika menggunakan frekuensi UHF (*Ultra High Frequency*) yang lebih rentan terhadap interferensi dibandingkan frekuensi LF (*Low Frequency*) atau HF (*High Frequency*). Selain itu, faktor lingkungan seperti kelembapan tinggi atau penumpukan debu dapat memengaruhi performa perangkat RFID, terutama jika pembaca RFID tidak dilengkapi dengan perlindungan fisik yang memadai. Namun, karena RFID tidak bergantung pada pencahayaan atau visibilitas, teknologi ini lebih andal dibandingkan kamera dalam kondisi lingkungan yang buruk, seperti gelap atau berdebu.

Tabel 5. Rangkuman Keandalan Perangkat Sistem Parkir Cerdas.

Aspek	Inframerah	Ultrasonik	Kamera	RFID
Lingkungan dan Cuaca	Kurang optimal di area dengan cahaya kuat atau luar ruangan.	Relatif tahan cuaca, tetapi sensitif terhadap air.	Terbatas pada kondisi pencahayaan optimal; kurang cocok di cuaca ekstrem.	Sangat kompatibel untuk semua kondisi cuaca. Dapat terganggu oleh interferensi elektromagnetik.

Dalam sistem parkir cerdas, kompatibilitas terhadap lingkungan menjadi faktor kunci yang menentukan keberhasilan implementasi perangkat sensor, kamera, dan RFID. Setiap perangkat harus dipilih dan dikonfigurasi berdasarkan karakteristik lingkungan operasional yang spesifik, seperti area parkir dalam ruangan atau luar ruangan. Selain itu, perlindungan tambahan, seperti pemasangan perangkat yang tahan cuaca atau penyediaan sumber daya cadangan untuk kondisi darurat, perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan keandalan sistem.

Kesesuaian karakteristik sistem parkir cerdas dengan kebutuhan kampus di Indonesia

Kesesuaian karakteristik sistem parkir cerdas dengan kebutuhan kampus di Indonesia sangat bergantung pada keterbatasan lahan, kapasitas parkir, serta biaya yang dapat diinvestasikan oleh institusi. Berdasarkan karakteristik lingkungan kampus, seperti pertumbuhan jumlah mahasiswa yang terus meningkat dan luas lahan yang relatif tetap, kebutuhan akan sistem parkir cerdas menjadi sangat relevan untuk mengatasi keterbatasan fasilitas parkir. Sistem berbasis sensor inframerah atau ultrasonik, yang memiliki harga lebih terjangkau (Rp 500.000 hingga Rp 700.000 per unit) dan instalasi yang relatif mudah, cocok untuk kampus dengan anggaran terbatas dan lahan parkir kecil. Namun, sensor ini memerlukan kalibrasi berkala, terutama di lingkungan luar ruangan dengan paparan cuaca yang berubah-ubah.

Untuk kampus besar dengan jumlah pengguna yang tinggi, seperti Universitas Brawijaya yang memiliki lebih dari 50.000 mahasiswa, sistem berbasis kamera ANPR atau RFID lebih sesuai karena mendukung kapasitas pengguna yang lebih besar dan meningkatkan keamanan parkir. Meski biayanya lebih tinggi (Rp 4.000.000 hingga Rp 30.000.000 per unit), teknologi ini memungkinkan monitoring kendaraan secara *real-time* dan identifikasi otomatis, yang dapat mempercepat alur kendaraan masuk dan keluar. Namun, kampus harus mempertimbangkan investasi tambahan untuk infrastruktur jaringan dan perawatan perangkat, terutama dalam kondisi cuaca ekstrem.

Dengan keberagaman kebutuhan dan keterbatasan tiap kampus, pemilihan sistem parkir cerdas harus didasarkan pada evaluasi menyeluruh terhadap faktor teknis, anggaran, serta lingkungan operasional. Pendekatan yang adaptif, seperti mengombinasikan perangkat sensor untuk area terbuka dengan RFID atau kamera di area yang lebih padat, dapat memberikan solusi optimal bagi pengelolaan parkir kampus di Indonesia. Tabel 6 membandingkan teknologi sistem parkir cerdas berdasarkan harga, instalasi, kompatibilitas, dan kecocokan dengan kebutuhan kampus.

Tabel 6. Perbandingan Karakteristik Kampus dan Karakteristik Sistem Parkir Cerdas.

Karakteristik Kampus	Sensor Inframerah/Ultrasonik	Kamera	RFID
Luas Lahan	Cocok untuk area terbatas	Cocok area luas	Cocok lahan terbatas maupun luas
Jumlah Pengguna	10 – 50 Kendaraan	30 – 50 Kendaraan	100–3000 kendaraan,
Biaya	Murah.	Sedang hingga Mahal.	Mahal.
Instalasi	Mudah, cocok untuk lingkungan dalam ruangan.	Kompleks, membutuhkan keahlian untuk penempatan.	Memerlukan integrasi dengan kartu/tag RFID.
Kompatibilitas dengan Lingkungan	Sensitif terhadap cahaya kuat atau pantulan objek.	Terbatas pada pencahayaan optimal.	Andalan di semua kondisi cuaca.
Anggaran Kampus	Ideal untuk kampus dengan anggaran rendah.	Cocok untuk kampus dengan anggaran menengah-tinggi.	Membutuhkan investasi awal yang signifikan.
Pemeliharaan	Minimal, tetapi membutuhkan kalibrasi.	Berkala, termasuk pembersihan lensa.	Perlindungan terhadap gangguan elektromagnetik.

Kesesuaian Sistem Parkir dengan Karakteristik Kampus di Indonesia

Kampus Kecil dengan Anggaran Rendah

Kampus dengan luas lahan terbatas, jumlah mahasiswa yang relatif sedikit, dan anggaran rendah, seperti Politeknik atau Akademi, dapat memanfaatkan sensor inframerah atau ultrasonik. Teknologi ini menawarkan solusi murah dan sederhana, dengan instalasi yang tidak memerlukan infrastruktur kompleks. Namun, penggunaannya lebih cocok untuk area dalam ruangan atau lokasi dengan perlindungan cuaca. Pemeliharaannya juga mudah, tetapi akurasi deteksi perlu diperiksa secara berkala, terutama jika digunakan di luar ruangan.

Kampus Sedang dengan Anggaran Menengah

Kampus dengan skala sedang, seperti Universitas Islam Indonesia (UII) yang memiliki lahan sekitar 50 hektar dan jumlah mahasiswa menengah, dapat mempertimbangkan kamera ANPR. Teknologi ini memungkinkan monitoring kendaraan secara visual, meningkatkan keamanan, dan memberikan kemudahan dalam pengelolaan data parkir. Meski instalasinya lebih kompleks dan memerlukan investasi perangkat keras serta perangkat lunak, kamera ANPR memberikan fleksibilitas untuk menangani area parkir yang lebih luas, baik di dalam ruangan maupun luar ruangan.

Kampus Besar dengan Anggaran Tinggi

Kampus besar seperti Universitas Indonesia (UI) atau Universitas Brawijaya, dengan jumlah mahasiswa lebih dari 50.000 mahasiswa, memerlukan sistem parkir yang mampu mengakomodasi kapasitas pengguna yang sangat besar. Dalam hal ini, RFID menjadi pilihan yang ideal. Sistem RFID memungkinkan identifikasi otomatis kendaraan di pintu masuk dan keluar, mempercepat proses parkir, dan meminimalkan antrian. Namun, implementasi sistem ini memerlukan investasi awal yang signifikan, termasuk pengadaan perangkat pembaca RFID, tag RFID untuk kendaraan, serta server yang terintegrasi. Teknologi ini juga cocok digunakan di lingkungan luar ruangan, karena tidak terpengaruh oleh kondisi pencahayaan atau cuaca ekstrem.

Strategi Implementasi Sistem Parkir Cerdas

Mengingat keberagaman karakteristik kampus di Indonesia, strategi implementasi sistem parkir cerdas dapat dilakukan melalui pendekatan bertahap: 1) Evaluasi Kebutuhan dan Anggaran: Identifikasi jumlah pengguna, luas lahan parkir, dan anggaran yang tersedia untuk menentukan teknologi yang paling sesuai. 2) Penggunaan Kombinasi Teknologi: Kampus dapat menggabungkan beberapa teknologi untuk memaksimalkan efisiensi. Misalnya, sensor inframerah untuk area slot parkir individu, RFID untuk pintu masuk/keluar, dan kamera ANPR

untuk monitoring keseluruhan area. 3) Perawatan dan Pengembangan Berkelanjutan: Pemeliharaan rutin perangkat, seperti pembersihan kamera atau kalibrasi sensor, harus dilakukan untuk menjaga kinerja optimal. Pengembangan sistem berbasis IoT juga dapat meningkatkan integrasi data parkir dan mempermudah manajemen.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian dan analisis terhadap berbagai teknologi sistem parkir cerdas dalam konteks lingkungan akademik di Indonesia, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi ini merupakan solusi krusial untuk mengatasi ketidakseimbangan antara jumlah kendaraan mahasiswa dengan keterbatasan lahan parkir. Pemilihan teknologi yang tepat harus didasarkan pada tiga parameter utama: ketersediaan anggaran, kompleksitas infrastruktur kampus, dan kebutuhan akan fitur keamanan.

Penelitian ini menunjukkan bahwa sensor inframerah dan ultrasonik adalah pilihan yang paling kompatibel untuk kampus dengan skala menengah atau anggaran terbatas karena biaya instalasinya yang ekonomis (Rp500.000 – Rp700.000) dan kemudahan integrasi dengan mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32. Di sisi lain, untuk kampus berskala besar dengan mobilitas tinggi, penggunaan teknologi berbasis kamera (ANPR) dan RFID sangat direkomendasikan. Meskipun membutuhkan investasi yang jauh lebih tinggi (mencapai Rp30.000.000), teknologi ini memberikan keunggulan dalam akurasi pemantauan *real-time*, keamanan data kendaraan, dan efisiensi manajemen parkir yang lebih terukur.

Secara keseluruhan, implementasi sistem parkir cerdas tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional lahan parkir, tetapi juga memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik bagi civitas akademika serta mendukung konsep smart campus di Indonesia. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi integrasi algoritma kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) guna memprediksi kepadatan parkir secara lebih presisi di jam-jam sibuk perkuliahan.

REFERENSI

- Allbadi, Y., Shehab, J. N., & Jasim, M. M. (2020). The smart parking system using ultrasonic control sensors. In *Proceedings of the 2nd International Scientific Conference of Engineering Sciences*.
- Appiah, O., Quayson, E., & Opoku, E. (2020). Ultrasonic sensor-based traffic information acquisition system: A cheaper alternative for ITS application in developing countries. *Scientific African*, 9, e00487.

- Arduino Indonesia. (2024, May). *Integrasi sensor dengan Arduino: Membaca dan mengolah data*. <https://www.arduinoindonesia.id/2024/05/integrasi-sensor-dengan-arduino-membaca-dan-mengolah-data.html>
- Ariat-Tech Blog. (n.d.). *ESP32 vs STM32: Which microcontroller is better for you*. <https://id.ariat-tech.com/blog/esp32-vs-stm32-which-microcontroller-is-better-for-you.html>
- Atiqur, R. (2021). Radio frequency identification based smart parking system using Internet of Things. *IAES International Journal of Robotics and Automation*, 10(1), 41–50.
- Aziz, F. A. A., Muji, S. Z. M., Wahab, M. H. A., Tukiran, Z., Uttraphan, C., & Sudin, N. (2022). Smart parking system mobile application using ultrasonic detector. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(3), 70–79.
- Bachania, M., Qureshi, U. M., & Shaikh, F. K. (2016). Performance analysis of proximity and light sensors for smart parking. In *Proceedings of the 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies* (pp. 385–392).
- Badan Pusat Statistik. (n.d.). *Perkembangan jumlah kendaraan bermotor menurut jenis*. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NTcjMg==/perkembangan-jumlah-kendaraanbermotor-menurut-jenis.html>
- Data Indonesia. (2022, December 23). *Jumlah mahasiswa Indonesia sebanyak 9,32 juta orang pada 2022*. <https://dataindonesia.id/pendidikan/detail/jumlah-mahasiswa-indonesia-sebanyak-932-juta-orang-pada-2022>
- Dichoso, W. L. S., Gonzaga, M., Erlano, S. P., Guevarra, K. K., Lasam, S. G. S., & Ronquillo, N. L. E. (2022). Implementation of RFID-based automated parking management system: A feasibility study. *Barometer*, 7(2), 117–129.
- Ditta, A., Ahmed, M. M., Alahmed, Y., Hamam, H., Mazhar, T., & Shahzad, T. (2025). Number plate recognition smart parking management system using IoT. *Measurement: Sensors*, 37, 101409.
- Elomiya, A., Křupka, J., & Jovčić, S. (2023). A smart parking system using surveillance cameras and fuzzy logic: A case study at Pardubice University's campus. In *Proceedings of the 27th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2023)*.
- GoodStats. (n.d.). *Universitas dengan jumlah mahasiswa ratusan ribu, adakah di Indonesia?* <https://goodstats.id/article/universitas-dengan-jumlah-mahasiswa-ratusan-ribu-adakah-di-indonesia-HKA5a>
- Hudda, S., Barnwal, R., Khurana, A., & Haribabu, K. (2024). A WSN and vision-based smart, energy-efficient, scalable, and reliable parking surveillance system with optical verification at edge for resource-constrained IoT devices. *Internet of Things*, 28, 101346.
- INRIX. (n.d.-a). *INRIX announces new curbside management solution for U.S. cities*. <https://inrix.com/press-releases/cod-us/>
- INRIX. (n.d.-b). *Parking pain in the UK*. <https://inrix.com/press-releases/parking-pain-uk/>
- Jabbar, W. A., Wei, C. W., Azmi, N. A. A. M., & Haironnazli, N. A. (2021). An IoT Raspberry Pi-based parking management system for smart campus. *Internet of Things*, 14, 100387.

- Joshi, A., Hariram, A. T., Somaiya, K. M. V., & Hussain, M. (2020). Smart car parking system. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 9(9), 484–487. <http://www.ijert.org>
- Kadhim, M. H. (2018). Arduino smart parking manage system based on ultrasonic Internet of Things (IoT) technologies. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(3.20), 494–501.
- Kadir, M. M. A., Osman, M. N., Othman, N. A., & Sedek, K. A. (2020). IoT based car parking management system using IR sensor. *Journal of Computing Research and Innovation*, 5(2), 151. <https://doi.org/10.24191/jcrinn.v5i2.151>
- Kianpisheh, A., Mustaffa, N., Limtrairut, P., & Keikhosrokiani, P. (2012). Smart parking system (SPS) architecture using ultrasonic detector. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 6(3), 53–60.
- Miller, M. R., & Newby, D. E. (2020). Air pollution and cardiovascular disease: Carsick. *Cardiovascular Research*, 116, 279–294.
- Pangkalan Data Pendidikan Tinggi. (n.d.). *Statistik*. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. <https://pddikti.kemdikbud.go.id/statistik>
- Patil, M., & Bhonge, V. N. (2013). Wireless sensor network and RFID for smart parking system. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(4), 188–192.
- Reolink Blog. (n.d.). *180-degree security camera: Complete guide and benefits*. <https://reolink.com/blog/180-degree-security-camera/>
- Rindhe, C., Kamthe, M., N. B. N., Kumar, L., & Bisen, K. (2020). Smart car parking system using IR sensor. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 8(5), 2460. <http://www.ijraset.com>
- Saeliw, A., Hualkasin, W., Puttinaovarat, S., & Khaimook, K. (2019). Smart car parking mobile application based on RFID and IoT. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 13(5), 4–14.
- Shaikh, F. I., Kulkarni, O. P., Jadhav, P. N., Bandarkar, S. P., & Shardoor, N. B. (2021). *Smart parking system based on embedded system and sensor network*. JSPM's Jaywantrao Sawant College of Engineering.
- Sistem Parkir. (n.d.). *RFID reader – Sistem parkir*. <https://sistemparkir.co.id/rfid-reader/>
- Tang, J., Wan, L., Schooling, J., Zhao, P., Chen, J., & Wei, S. (2022). Automatic number plate recognition (ANPR) in smart cities: A systematic review on technological advancements and application cases. *Sustainable Cities and Society*, 129, 103833.
- Thorat, S. S., A. M., Kelshikar, A., Londhe, S., & Choudhary, M. (2017). IoT based smart parking system using RFID. *International Journal of Computer Engineering in Research Trends*, 4(1), 9–12.
- Uniview. (n.d.). *Uniview launches 4K smart parking solution with video analytics*. https://global.uniview.com/id/News/News/202109/940132_388584_0.htm