

Rancangan Arsitektur Sistem Terdistribusi untuk Pengelolaan Parkir Motor di Basement Fakultas Ilmu Komputer Universitas Duta Bangsa

Wedyawati^{1*}, Muhamad Anis Maksum², Maulana Dhigjay Fawwas Aradhana³, Afif Abdilah Majid Syam⁴, Shandy Satria Wahyu Pradana⁵,

¹Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa

1*240103179@mhs.udb.ac.id

² Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa

240103169@mhs.udb.ac.id

³ Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa

3240103166@mhs.udb.ac.id

⁴ Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa

4240103152@mhs.udb.ac.id

⁵ Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa

5240103178@mhs.udb.ac.id

Abstrak— Keterbatasan lahan dan tingginya volume kendaraan di area kampus seringkali menyebabkan ketidakefisienan dalam pengelolaan parkir. Penelitian ini bertujuan untuk merancang arsitektur sistem terdistribusi yang dikhususkan untuk pengelolaan parkir motor di basement Fakultas Ilmu Komputer Universitas Duta Bangsa. Metode yang digunakan meliputi analisis kebutuhan sistem, perancangan topologi jaringan terdistribusi, serta pemodelan basis data terrepikasi untuk memastikan ketersediaan data yang tinggi (*high availability*) dan toleransi kesalahan (*fault tolerance*). Arsitektur ini mengintegrasikan beberapa node sensor di pintu masuk dan keluar yang terhubung ke server lokal serta disinkronisasikan dengan server pusat kampus. Hasil dari perancangan ini menunjukkan bahwa implementasi sistem terdistribusi mampu mengurangi bottleneck antrian kendaraan, mempercepat pencarian slot parkir yang kosong, dan menjaga konsistensi data transaksi parkir meskipun terjadi gangguan pada salah satu node jaringan. Kesimpulan utama dari penelitian ini adalah rancangan arsitektur sistem terdistribusi dapat menjadi solusi yang skalabel dan andal dalam mengoptimalkan manajemen parkir di lingkungan akademis Universitas Duta Bangsa.

Kata kunci— Sistem terdistribusi, manajemen parkir, high availability, fault tolerance.

Abstract— Limited space and high vehicle volume on campus often lead to inefficiencies in parking management. This study aims to design a distributed system architecture specifically for managing motorcycle parking in the basement of the Faculty of Computer Science at Duta Bangsa University. The methods used include analyzing system requirements, designing a distributed network topology, and modeling a replicated database to ensure high availability and fault tolerance. This architecture integrates several sensor nodes at the entrances and exits, which are connected to a local server and synchronized with the campus central server. The results of this design show that implementing a distributed system can reduce vehicle queue bottlenecks, speed up the search for empty parking slots, and maintain the consistency of parking transaction data even if one of the network nodes experiences a disturbance. The main conclusion from this study is that a distributed system architecture design can be a scalable and reliable solution for optimizing parking management in the academic environment of Duta Bangsa University.

Keywords— Distributed systems, parking management, high availability, fault tolerance.

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan volume kendaraan di area kampus yang tidak diimbangi dengan peningkatan infrastruktur parkir menjadi tantangan serius di banyak institusi pendidikan, termasuk Universitas Duta Bangsa (UDB). Fakultas Ilmu Komputer UDB,

sebagai salah satu pusat akademik di kampus, mengalami permasalahan akut dalam pengelolaan parkir, khususnya untuk kendaraan roda dua (motor). Permasalahan ini semakin memburuk seiring dengan peningkatan jumlah mahasiswa, dosen, dan staf yang menggunakan kendaraan pribadi. Keterbatasan lahan

parkir yang tersedia, terutama di area basemen, telah menciptakan situasi yang kritis dengan menumpuknya kendaraan di area parkir dan waktu pencarian slot yang sangat lama [1]. Permasalahan ini tidak hanya mengganggu aktivitas akademis, tetapi juga memicu pemborosan waktu yang berdampak negatif pada produktivitas sivitas akademika UDB.

Sistem pengelolaan parkir konvensional yang masih menggunakan pendekatan manual atau semi-otomatis terbukti tidak mampu menangani kompleksitas operasional modern. Sistem manual sangat rentan terhadap kesalahan manusia dan kehilangan data. Sementara itu, sistem semi-otomatis berbasis kartu magnetik atau *barcode* memang sudah mengurangi beban petugas, namun masih beroperasi dalam arsitektur terpusat (*centralized*) yang mengandung risiko *single point of failure* [2]. Ketika terjadi kegagalan pada server pusat, seluruh sistem akan lumpuh total. Selain itu, sistem terpusat juga sering mengalami *bottleneck* data saat volume motor tinggi, sehingga waktu respons palang parkir meningkat drastis dan memperburuk antrean di pintu masuk [3].

Paradigma arsitektur sistem terdistribusi (*distributed systems architecture*) menawarkan solusi yang jauh lebih *robust* dan skalabel. Arsitektur terdistribusi mengoperasikan beberapa *node* yang bekerja secara kolaboratif dan independen, sehingga meniadakan *single point of failure* yang dapat melumpuhkan seluruh sistem [4]. Konsep ketersediaan tinggi (*high availability*) dan toleransi kesalahan (*fault tolerance*) menjadi prinsip fundamental dalam desain ini, di mana operasional parkir tetap berjalan meskipun terjadi gangguan pada jaringan kampus [5]. Mekanisme replikasi basis data dan sinkronisasi secara asinkron dapat menjaga konsistensi data di seluruh *node*, bahkan dalam kondisi koneksi yang tidak ideal [6].

Sebelumnya, penggunaan banyak sensor nirkabel (seperti ultrasonik pada setiap slot parkir) sering digunakan untuk mendeteksi ketersediaan lahan. Namun, implementasi sensor semacam ini sangat tidak efektif diterapkan di area *basement* yang seringkali menjadi *blank spot* atau tidak memiliki sinyal jaringan nirkabel yang stabil [7]. Sebagai alternatif yang lebih andal dan hemat biaya, pendekatan modern beralih menggunakan kamera pengawas (CCTV) yang dipadukan dengan pengolahan citra (*computer vision*) [8]. Dengan memanfaatkan arsitektur terdistribusi berbasis *Edge Computing*, CCTV dihubungkan secara langsung

melalui jaringan kabel (LAN/Coaxial) ke *server* lokal (*Edge Server*) yang berada di *basement*. *Edge Server* inilah yang menanggung beban komputasi berat untuk memproses video secara *offline* guna mengenali status slot parkir, sehingga masalah ketiadaan sinyal internet di *basement* dapat terpecahkan [9].

Topologi jaringan terdistribusi berbasis CCTV dan *Edge Server* ini sangat menentukan efisiensi *bandwidth* sistem. Alih-alih mengirimkan siaran video (*video streaming*) yang berat ke server pusat kampus, *Edge Server* di *basement* hanya mengirimkan ekstraksi data teks ringan (seperti ketersediaan slot dan jumlah motor) ke pusat pemantauan [10]. Model komunikasi ini terbukti efektif dalam mengurangi beban jaringan kampus dan menjamin sistem parkir di *basement* tetap beroperasi penuh secara lokal meskipun kabel utama yang menghubungkannya ke *server* pusat terputus.

Penelitian ini bermaksud merancang arsitektur sistem terdistribusi khusus untuk pengelolaan parkir motor di *basement* Fakultas Ilmu Komputer Universitas Duta Bangsa. Tujuan penelitian mencakup: (1) menganalisis kebutuhan sistem dan mengidentifikasi *bottleneck* pada sistem parkir *existing*; (2) merancang topologi jaringan terdistribusi berbasis kabel dan CCTV dengan penempatan *edge server* lokal di *basement*; (3) merancang model basis data terreplikasi dengan sinkronisasi yang menjamin *high availability*; (4) menganalisis performa efisiensi *bandwidth* dan toleransi kesalahan sistem terdistribusi; serta (5) memberikan rekomendasi implementasi dan *roadmap deployment* di lingkungan FIKOM UDB.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Studi Literatur

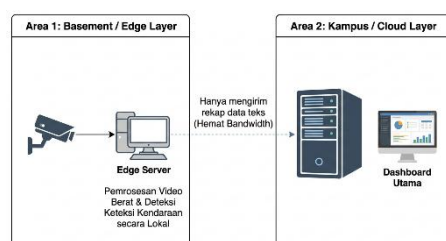
Penelitian mengenai sistem parkir pintar (*smart parking*) telah banyak dilakukan oleh para akademisi dengan berbagai pendekatan teknologi. Mayoritas eksplorasi awal dan menengah dalam bidang ini, seperti yang diujikan dalam penelitian Pratama et al. [1] dan dikaji lebih dalam oleh Kamboj et al. [6], masih sangat merujuk pada penggunaan Wireless Sensor Networks (WSN). Sistem tersebut umumnya melibatkan pemasangan ratusan titik sensor Internet of Things (IoT) nirkabel, seperti sensor ultrasonik atau inframerah, pada setiap bidang slot parkir. Walaupun arsitektur berbasis sensor per-slot ini

dinilai mampu memberikan pemetaan ketersediaan ruang parkir secara real-time, implementasinya di lapangan memunculkan tantangan infrastruktur yang kompleks. Tantangan terbesar muncul ketika sistem ini diterapkan pada lingkungan tertutup seperti basement. Area basement secara karakteristik geografis dan struktural dibatasi oleh beton tebal yang sangat meredam rambatan gelombang radio. Hal ini berimbas pada terbentuknya titik-titik mati sinyal (blank spot) yang membuat perangkat IoT nirkabel sering kali mengalami gagal transmisi data atau terputus secara periodik dari gateway utama [4].

Selain isu keandalan konektivitas, penggunaan sensor individual di area yang memiliki kapasitas ratusan motor mengharuskan investasi awal serta biaya pemeliharaan berkala yang sangat tinggi. Setiap sensor membutuhkan suplai daya, pemeriksaan kalibrasi, dan penggantian baterai secara berkala. Mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan (novelty) dengan mengalihkan paradigma pemantauan fisik per-slot menjadi pemantauan visual berskala luas melalui kamera pengawas (CCTV) tersentralisasi secara lokal.

Penelitian terkini yang dilakukan oleh [8] dan [9] memberikan bukti empiris bahwa teknologi pengolahan citra digital (computer vision)—terutama yang dikawinkan dengan algoritma deteksi objek modern—telah mencapai tingkat akurasi yang mampu menggantikan fungsi ratusan sensor fisik. Hanya dengan menempatkan beberapa unit kamera pengawas di titik-titik strategis, sistem mampu memantau area parkir motor yang luas secara simultan. Penggunaan kamera yang tertambat secara fisik melalui jaringan kabel ini tidak hanya menuntaskan permasalahan degradasi sinyal nirkabel di basement, namun juga menghasilkan efisiensi infrastruktur yang masif. Pendekatan ini terbukti lebih tangguh terhadap redaman sinyal fisik, lebih minim titik kegagalan perangkat keras, dan menawarkan rasio efektivitas biaya yang jauh lebih rasional dibandingkan sistem IoT konvensional.

B. Konsep Sistem Terdistribusi



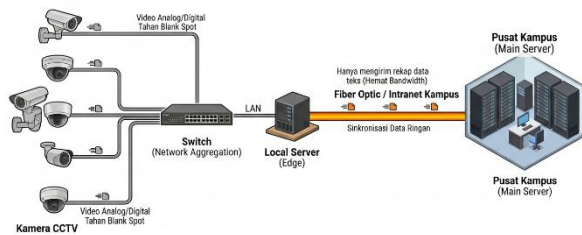
Gambar 1. Contoh Arsitektur Komputasi Edge-Cloud pada Sistem Parkir.

Dalam arsitektur komputasi tradisional (tersentralisasi murni), seluruh aliran data mentah dari perangkat di lapangan biasanya ditransmisikan secara langsung menuju peladen (server) pusat atau pangkalan cloud untuk diproses. Namun, ketika arsitektur ini diimplementasikan pada sistem yang berbasis rekaman video (CCTV), pendekatan tersentralisasi akan memicu masalah skalabilitas jaringan yang krusial. Mengirimkan siaran video (video streaming) resolusi tinggi secara non-stop dari belasan kamera di basement menuju server pusat kampus akan menciptakan bottleneck serta menghabiskan bandwidth jaringan intranet secara eksponensial [10]. Sebagai respons terhadap permasalahan ini, arsitektur yang diusulkan bertumpu pada paradigma Sistem Terdistribusi yang memanfaatkan model komputasi Edge-Cloud.

Konsep Edge Computing memecah dan mendistribusikan beban kerja komputasi sedekat mungkin dengan sumber data—dalam hal ini adalah lokasi fisik basement. Pada rancangan sistem ini, sebuah unit peladen lokal (Edge Server) dikonfigurasi dan ditempatkan secara dedikatif di area basement tersebut. Edge Server ini diberikan tugas komputasi tingkat tinggi, yakni mengeksekusi algoritma computer vision untuk mengekstraksi dan menganalisis rekaman video secara offline dan real-time. Di dalam Edge Server inilah sistem menentukan status setiap klaster parkir motor, mendeteksi keberadaan kendaraan, dan menghitung kuota slot yang masih tersedia [5].

Setelah pemrosesan analitik citra selesai, model komunikasi bergeser ke arah asinkronisasi yang sangat ringan. Alih-alih mentransmisikan file video, Edge Server hanya bertugas merangkum hasil analisisnya ke dalam format data teks berukuran sangat kecil (misalnya matriks jumlah motor masuk, kuota sisa, dan status gerbang). Paket data teks inilah yang kemudian dikirimkan secara berkala menuju Cloud Server atau Server Pusat Kampus untuk keperluan perekaman historis (database) dan penayangan dashboard manajemen. Pembagian peran yang terdistribusi ini menjamin tingkat ketersediaan sistem (high availability). Apabila terjadi putusnya koneksi kabel utama dari gedung basement menuju pusat data rektorat, fungsionalitas sistem parkir di basement—termasuk mekanisme buka-tutup palang otomatis dan pembaruan display LED antrean—tidak akan lumpuh karena seluruh "otak" pemrosesannya bekerja secara independen di level Edge Server.

C. Topologi Jaringan



Gambar 2. Gambar Topologi Jaringan Fisik Sistem Terdistribusi Parkir Basement.

Perancangan topologi jaringan memegang peranan vital dalam memastikan kelancaran arus informasi yang bebas hambatan dan toleran terhadap kegagalan operasional (*fault-tolerant*). Bertitik tolak dari realitas kondisi *basement* yang minim penetrasi sinyal nirkabel, arsitektur komunikasi sistem ini dibangun murni menggunakan pendekatan transmisi kabel fisik (*wired transmission*). Penggunaan kabel sebagai media transmisi merupakan langkah preskriptif terbaik guna menghindari redaman *blank spot* secara mutlak [7].

Pada level basis pengumpulan data, kamera-kamera CCTV disebarkan pada titik-titik krusial yang memiliki bidang pandang (*field of view*) optimal terhadap area parkir. Kamera-kamera pemantau ini disambungkan secara topologi bintang (*star topology*) menuju sebuah Switch atau konsentrator menggunakan media kabel LAN (kategori 6) atau kabel *Coaxial*. Dari Switch tersebut, saluran agregasi jaringan diteruskan secara terpusat masuk ke dalam *Edge Server* yang tersimpan di dalam ruang kontrol lokal di lingkungan *basement*. Segmen jaringan internal *basement* ini sepenuhnya terisolasi dan beroperasi tanpa memerlukan konektivitas internet luar, sehingga meminimalisir intervensi sinyal eksternal maupun potensi gangguan keamanan siber.

Pada level integrasi sistem (*system integration layer*), *Edge Server* yang telah mengolah data video menjadi data tekstual akan dikomunikasikan dengan Server Pusat Kampus. Jalur komunikasi vertikal ini dibangun menggunakan bentangan infrastruktur kabel LAN *Gigabit* atau kabel serat optik (*Fiber Optic*) milik kampus Universitas Duta Bangsa. Jalur komunikasi dari *Edge* menuju *Main Server* ini berjalan pada port dan protokol spesifik yang hanya mengizinkan sinkronisasi data ringan. Pendekatan

isolasi jaringan fisik seperti ini secara holistik membebani infrastruktur kampus seminimal mungkin, meniadakan latensi operasional, dan menghadirkan jaminan bahwa *backbone* pemantauan parkir memiliki integritas transmisi data yang sempurna dan tangguh [2][3].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan desain dan rekayasa sistem (*system design and engineering approach*) yang difokuskan pada pemecahan masalah empiris terkait pengelolaan parkir motor di *basement* Fakultas Ilmu Komputer Universitas Duta Bangsa (FIKOM UDB). Metodologi penelitian dilaksanakan melalui tahapan sistematis yang saling berkaitan, dimulai dari analisis kebutuhan sistem secara fundamental, perancangan arsitektur sistem berbasis *Edge-Cloud*, hingga pemodelan topologi basis data terreplikasi. Pendekatan ini dipilih karena fokus penelitian bertumpu pada penciptaan solusi teknis arsitektural yang membutuhkan spesifikasi logis dan fisik yang presisi, tangguh terhadap gangguan jaringan, dan mampu menekan konsumsi *bandwidth* operasional.

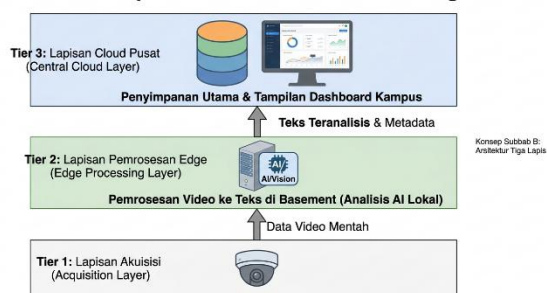
A. Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap krusial pertama dalam metodologi ini adalah melakukan analisis terhadap kebutuhan sistem (*system requirements analysis*) yang disesuaikan secara khusus dengan lanskap fisik area *basement* FIKOM UDB. Berdasarkan kondisi minimnya penetrasi jaringan nirkabel, kebutuhan sistem dibagi menjadi dua pilar utama, yaitu kebutuhan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Pada sisi perangkat keras, komponen sepenuhnya adalah seperangkat kamera pengawas (CCTV). Kamera ini bertindak sebagai mata visual yang akan menyuplai aliran data gambar tanpa henti. Untuk memproses aliran data tersebut, dibutuhkan sebuah unit *Edge Server* berspesifikasi menengah ke atas—idealnya dilengkapi dengan unit pemrosesan grafis (GPU)—yang ditempatkan secara terisolasi di dalam *basement* [5]. Perangkat keras pendukung lainnya meliputi switch jaringan dan bentangan medium kabel fisik (LAN Cat6 atau *Coaxial*) yang kebal terhadap fenomena *blank spot*.

Di sisi perangkat lunak, kebutuhan utamanya adalah sebuah kerangka kerja pengolahan citra (*computer vision framework*). Penelitian ini

mengadopsi keluarga algoritma pendeteksi objek modern (seperti YOLOv8) karena telah terbukti memiliki akurasi presisi dalam mendeteksi kontur fisik kendaraan pada lingkungan kampus [8]. Perangkat lunak ini dikonfigurasi dalam *Edge Server* untuk menerjemahkan tangkapan gambar dari CCTV menjadi parameter status ketersediaan pada klaster-klaster parkir [9]. Selain itu, diperlukan sistem manajemen basis data relasional (RDBMS) yang mendukung mekanisme replikasi asinkron, serta skrip komunikasi ringan untuk mentransfer data teks hasil terjemahan. Pemenuhan spesifikasi kebutuhan ini akan memastikan tercapainya target kebutuhan non-fungsional sistem, yakni waktu respons di bawah dua detik dan tingkat toleransi kesalahan yang maksimal.

B. Arsitektur Sistem Terdistribusi Terstruktur



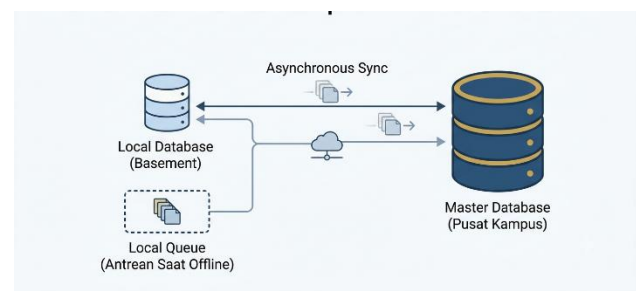
Gambar 3. Gambar Arsitektur Berlapis Sistem Parkir Berbasis Edge-Cloud.

Rancangan arsitektur sistem ini direpresentasikan menggunakan pemodelan tiga lapis (*three-tier distributed architecture*) yang diadaptasi khusus untuk efisiensi *bandwidth* pada pemrosesan citra [10]. Lapis pertama adalah *Sensory and Acquisition Layer* (Lapis Akuisisi). Pada lapis ini, unit-unit CCTV yang terpasang di *basement* bertugas merekam kondisi riil pergerakan motor secara terus-menerus. Lapis ini tidak memiliki kecerdasan komputasi; perannya murni mengalirkan data video menuju pusat pemrosesan lokal.

Lapis kedua, yang merupakan jantung utama pemecahan masalah dalam arsitektur ini, adalah *Edge Processing Layer* (Lapis Komputasi Lokal). Berpusat pada *Edge Server* di *basement*, lapis ini mencegat dan memproses seluruh *video streaming* tersebut secara luring (*offline*). *Edge Server* menyaring informasi visual, mengekstraksi matriks ketersediaan slot, dan mengubah data video bervolume raksasa menjadi teks operasional berukuran sangat kecil. Pembagian peran arsitektural di lapis kedua ini terbukti secara ilmiah menjadi bentuk efisiensi jaringan yang paling optimal untuk sistem pemantauan parkir [3].

Lapis ketiga adalah *Central Cloud Layer* (Lapis Komputasi Pusat). Berada pada peladen utama milik Universitas Duta Bangsa, lapis ini bertindak sebagai penampung rekaman historis dan otak manajerial makro. Sistem pusat tidak lagi dibebani tugas memproses gambar, melainkan cukup menerima serapan data teks yang telah "matang" dari *Edge Server*. Data tersebut divisualisasikan melalui papan *display* interaktif, sehingga sivitas akademika dapat mengetahui kepadatan ruang parkir tanpa menyebabkan latensi pada jaringan internal kampus [7].

C. Desain Basis Data dan Mekanisme Replikasi



Gambar 4. Skema Sinkronisasi dan Replikasi Basis Data Asinkron.

Mempertimbangkan sifat basemen yang kritis terhadap gangguan fisik jaringan, maka desain basis data mutlak dirancang menggunakan paradigma terrepikasi (*replicated database*). Pemodelan ini mengadopsi mekanisme *Master-Slave Asynchronous Replication* guna menjamin keandalan sistem pada lingkungan *bandwidth* yang berfluktuasi [4]. Dalam skema ini, *database* yang berjalan di dalam *Edge Server basement* bertindak sebagai *Slave* (atau *Local Node*), sedangkan *database* di Server Pusat bertindak sebagai *Master*. Seluruh pencatatan transaksi masuk-keluar kendaraan akan ditulis secara seketika (*real-time*) ke dalam *Local Node* di *basement*.

Pada kondisi jaringan normal, *Local Node* akan melakukan sinkronisasi data secara periodik ke *Master* di pusat. Namun, titik keunggulan metodologi replikasi ini muncul manakala terjadi pemutusan hubungan jaringan lokal menuju pusat. *Edge Server* akan menyimpan sisa transaksi parkir ke dalam bentuk antrean lokal sementara (*local queue*). Operasional di *basement* tetap berjalan mulus, motor tetap bisa keluar masuk, dan palang otomatis tetap merespons berdasarkan otorisasi *database* lokal. Begitu konektivitas fisik pulih, mekanisme sinkronisasi asinkron akan aktif kembali dan menembakkan seluruh data yang sempat tertahan ke *database* pusat. Protokol pencegahan konflik bawaan akan menjamin tidak ada data yang

hilang (*zero data loss*), memastikan prinsip ketersediaan sistem yang tinggi (*high availability*) terpenuhi secara paripurna.

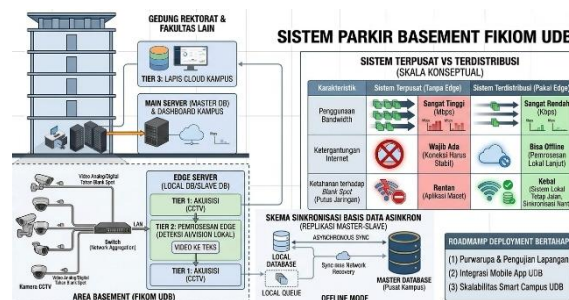
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengingat penelitian ini berfokus pada tahapan perancangan arsitektur, maka hasil yang diperoleh berupa purwarupa desain konseptual (*conceptual design prototype*) dari sistem terdistribusi parkir motor di *basement* FIKOM UDB. Pembahasan pada bab ini tidak dititikberatkan pada pengujian metrik perangkat keras nyata, melainkan difokuskan pada analisis skenario kegagalan (*failure scenario analysis*) dan analisis efisiensi jaringan secara teoritis guna memvalidasi keandalan rancangan yang diusulkan.

A. Hasil Rancangan Arsitektur Terdistribusi

Hasil akhir dari perancangan ini adalah sebuah cetak biru (*blueprint*) topologi sistem parkir yang secara tegas memisahkan beban kerja antara infrastruktur di *basement* dan infrastruktur di gedung pusat. Arsitektur yang dihasilkan menempatkan kamera pengawas (CCTV) murni sebagai instrumen akuisisi visual pasif di area *basement*. Aliran video dari CCTV tersebut tidak pernah dialirkan keluar dari area *basement*, melainkan dihentikan dan diproses secara langsung oleh *Edge Server* lokal yang terhubung melalui kabel jaringan *Coaxial* atau LAN.

Rancangan ini mendobrak ketergantungan pada konektivitas nirkabel yang selama ini menjadi titik kelemahan sistem IoT di lingkungan tertutup. Pada *Edge Server* lokal inilah kerangka kerja algoritma deteksi objek ditanamkan untuk mengekstraksi informasi ketersediaan slot parkir motor. Hasil ekstraksi tersebut kemudian dicatat ke dalam basis data lokal. Struktur rancangan ini membuktikan bahwa pemrosesan berat dapat dilokalisasi [7], sehingga integrasinya dengan Server Pusat Kampus cukup dilakukan melalui komunikasi data teks (*text-based payloads*) dua arah yang berjalan di atas topologi kabel serat optik atau intranet kampus yang sudah ada. Pendekatan lokalisasi proses ini terkonfirmasi sejalan dengan temuan penelitian terdahulu yang menekankan pentingnya isolasi beban kerja visual pada sistem parkir tertutup [6].

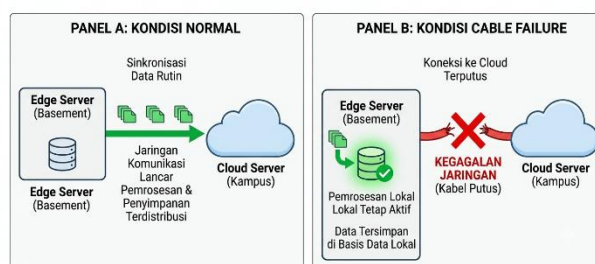


Gambar 5. Gambar Topologi System Parkir

Berdasarkan blueprint topologi yang diusulkan, sistem terdiri atas empat kamera CCTV yang ditempatkan pada titik strategis area parkir basement untuk memperoleh cakupan pemantauan secara menyeluruh. Seluruh kamera dihubungkan menggunakan topologi star menuju Gigabit Switch yang berfungsi sebagai pusat komunikasi jaringan lokal. Switch kemudian terhubung dengan *Edge Server* yang menjalankan proses Computer Vision dan menyimpan hasil deteksi ke database lokal. Selanjutnya, data direplikasi secara asinkron menuju server pusat melalui jaringan intranet kampus sehingga dashboard monitoring dapat menampilkan informasi kondisi parkir secara real-time tanpa mengirimkan video mentah dari CCTV.

B. Analisis Skenario Kegagalan (Fault Tolerance Analysis)

Untuk menguji tingkat toleransi kesalahan sistem (*fault tolerance*), dilakukan analisis berbasis skenario terhadap ancaman paling umum di area basement, yaitu terputusnya koneksi antara jaringan lokal basement dengan jaringan utama Universitas Duta Bangsa. Pada arsitektur parkir semi-otomatis tersentralisasi yang ada saat ini, terputusnya kabel penghubung utama akan mengakibatkan kelumpuhan total; gerbang parkir tidak dapat divalidasi dan pencatatan ketersediaan slot akan terhenti karena kehilangan akses ke basis data pusat.



Gambar 6. Gambar Ilustrasi Skenario Kegagalan.

Sebaliknya, pada arsitektur terdistribusi *Edge-Cloud* yang dirancang, sistem memiliki kekebalan

(resilience) terhadap skenario kegagalan tersebut. Ketika koneksi menuju pusat terputus, Edge Server akan otomatis beralih ke mode luring (offline survivability mode). Deteksi slot oleh CCTV tetap berjalan, dan transaksi motor yang keluar-masuk akan divalidasi secara otonom menggunakan basis data lokal (Slave Database). Semua catatan transaksi selama jaringan terputus tidak akan menguap, melainkan dienkapsulasi ke dalam antrean memori lokal (local message queue). Ketika teknisi berhasil memulihkan koneksi jaringan menuju kampus, mekanisme replikasi asinkron akan langsung memicu proses pengosongan antrean (queue flushing), mengirimkan riwayat data tersebut ke Master Database di pusat. Analisis skenario ini membuktikan secara teoritis bahwa arsitektur yang dirancang memenuhi kriteria ketersediaan sistem tinggi (high availability) dengan tingkat kehilangan data nihil, yang juga direkomendasikan sebagai standar sistem terdistribusi pada lingkungan bandwidth fluktuatif [4].

C. Analisis Efisiensi Bandwidth Jaringan

Karakteristik	Sistem Terpusat (Tanpa Edge)	Sistem Terdistribusi (Pakai Edge)
Penggunaan Bandwidth	 Sangat Tinggi (Mbps)	 Sangat Rendah (Kbps)
Ketergantungan Internet	 Wajib Ada (Koneksi Harus Stabil)	 Bisa Offline (Pemrosesan Lokal Lanjut)
Ketahanan terhadap Blank Spot (Putus Jaringan)	 Rentan (Aplikasi Macet)	 Kebal (Sistem Lokal Tetap Jalan, Sinkronisasi Nanti)

Gambar 7. Gambar Grafik Perbandingan Konseptual Sistem Terpusat vs Terdistribusi

Selain keandalan, perancangan sistem terdistribusi ini juga menyelesaikan masalah penumpukan lalu lintas data (*bottleneck*). Sebagai ilustrasi analisis teoritis, jika arsitektur sistem dibuat tersentralisasi di mana 4 buah CCTV resolusi 1080p harus melakukan *streaming* video secara langsung ke Server Pusat Kampus selama 24 jam penuh, sistem tersebut diproyeksikan akan secara konstan memonopoli *bandwidth* sebesar 15 hingga 20 Mbps secara eksklusif. Hal ini jelas akan membebani infrastruktur intranet kampus secara tidak rasional hanya untuk keperluan sistem parkir.

Melalui penerapan *Edge Computing* di *basement*, beban *streaming* video ditahan sepenuhnya di dalam *Switch* lokalruang *basement*. *EdgeServer* yang telah mengolah video tersebut hanya perlu mengirimkan format data terstruktur, seperti paket JSON (misal: {"slot_id":"A1", "status":"terisi",

"timestamp":"08:00:00"}). Pengiriman data teks seperti ini hanya memakan *bandwidth* dalam hitungan beberapa *Kilobyte* per detik, dan hanya dikirimkan apabila terjadi perubahan status pada slot parkir. Secara analitis komparatif, rancangan terdistribusi ini mampu mereduksi konsumsi *bandwidth* antara lokasi *basement* dan gedung pusat kampus hingga lebih dari 99% dibandingkan arsitektur terpusat berbasis *video streaming* [10]. Reduksi *bandwidth* yang sangat drastis ini memperkuat nilai praktis dari penerapan arsitektur *Edge-Cloud* pada kasus pengawasan lahan parkir kampus.

D. Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan sistem dilakukan untuk mengidentifikasi seluruh komponen yang diperlukan agar rancangan arsitektur sistem terdistribusi mampu mendukung proses pengelolaan parkir motor di *basement* Fakultas Ilmu Komputer Universitas Duta Bangsa (FIKOM UDB). Berdasarkan hasil observasi terhadap kondisi area parkir, diketahui bahwa lingkungan *basement* memiliki karakteristik berupa keterbatasan ruang, tingginya kepadatan kendaraan pada jam-jam tertentu, serta minimnya kualitas sinyal komunikasi nirkabel akibat struktur bangunan yang tertutup. Oleh karena itu, sistem dirancang menggunakan pendekatan jaringan berbasis kabel (*wired network*) dengan memanfaatkan teknologi *Edge Computing* untuk memastikan proses pemantauan dan pengolahan data dapat berlangsung secara stabil tanpa bergantung pada koneksi internet.

Kebutuhan perangkat keras utama meliputi empat unit kamera CCTV yang ditempatkan pada titik strategis, yaitu area pintu masuk, pintu keluar, serta dua titik pemantauan di dalam area parkir. Penempatan tersebut bertujuan agar seluruh area *basement* dapat terpantau secara menyeluruh sehingga proses deteksi kendaraan dan identifikasi ketersediaan slot parkir dapat dilakukan secara optimal. Seluruh kamera dihubungkan ke sebuah Gigabit Switch menggunakan kabel LAN kategori 6 atau kabel coaxial sebagai media transmisi data berkecepatan tinggi menuju *Edge Server* yang ditempatkan di ruang kontrol *basement* [1], [7].

Edge Server berfungsi sebagai pusat komputasi lokal yang menjalankan algoritma Computer Vision untuk menganalisis citra dari CCTV secara real-time [3], [5]. Seluruh proses deteksi kendaraan, penghitungan jumlah slot kosong, serta pencatatan transaksi kendaraan dilakukan secara lokal pada *Edge Server* sehingga sistem tetap dapat beroperasi

meskipun koneksi menuju server pusat mengalami gangguan. Untuk mendukung mekanisme tersebut, diperlukan database lokal yang berfungsi menyimpan seluruh transaksi parkir sementara selama sistem berada dalam kondisi offline. Selanjutnya, data yang tersimpan akan disinkronkan secara otomatis ke database pusat menggunakan mekanisme replikasi asinkron ketika koneksi jaringan kembali normal [1].

Komunikasi antara Edge Server dan server pusat kampus dirancang menggunakan jaringan Fiber Optic atau jaringan intranet kampus yang telah tersedia. Penggunaan media komunikasi ini dipilih karena mampu menyediakan bandwidth yang tinggi, latensi rendah, serta tingkat keandalan yang lebih baik dibandingkan jaringan nirkabel. Dengan rancangan tersebut, hanya data hasil pemrosesan berupa informasi status slot parkir, jumlah kendaraan, dan data transaksi yang dikirimkan ke server pusat, sedangkan proses pengolahan video tetap dilakukan sepenuhnya pada Edge Server. Pendekatan ini mampu mengurangi beban bandwidth jaringan kampus secara signifikan sekaligus meningkatkan ketersediaan layanan (*high availability*) dan toleransi kesalahan (*fault tolerance*) pada sistem parkir terdistribusi.

Sebagai hasil analisis kebutuhan, komponen utama yang diperlukan dalam rancangan sistem ditunjukkan pada berikut.

Kebutuhan Sistem	Hasil Analisis
Kamera CCTV	4 unit untuk memantau seluruh area basement dari berbagai sudut
Edge Server	1 unit sebagai pusat pemrosesan Computer Vision dan pengelolaan database lokal
Gigabit Switch	Menghubungkan seluruh CCTV dengan Edge Server melalui jaringan kabel
Database Lokal	Menyimpan data transaksi dan status parkir ketika koneksi ke server pusat terputus
Database Pusat	Menyimpan data hasil sinkronisasi dari seluruh transaksi parkir untuk kebutuhan monitoring
Fiber Optic/Intranet Kampus	Jalur komunikasi dan sinkronisasi data antara Edge Server dengan server pusat

Tabel 1. Tabel Kebutuhan system dan hasil analisis

Hasil analisis kebutuhan tersebut menunjukkan bahwa rancangan sistem tidak hanya berorientasi pada peningkatan kemampuan pemantauan area parkir, tetapi juga memperhatikan aspek keandalan komunikasi data, efisiensi penggunaan bandwidth, serta kontinuitas layanan ketika terjadi gangguan jaringan. Dengan demikian, kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang telah diidentifikasi mampu mendukung implementasi arsitektur sistem terdistribusi yang sesuai dengan karakteristik lingkungan basement FIKOM UDB.

E. Permodelan Basis Data Teraplikasi

Pemodelan basis data terreplikasi dirancang untuk menjamin ketersediaan layanan (*high availability*) serta menjaga konsistensi data transaksi parkir pada lingkungan sistem terdistribusi [1], [4]. Dalam penelitian ini, mekanisme penyimpanan data menggunakan dua basis data yang memiliki fungsi berbeda, yaitu database lokal yang berada pada Edge Server di basement FIKOM UDB dan database pusat yang berada pada server utama Universitas Duta Bangsa. Pembagian tersebut bertujuan agar seluruh aktivitas operasional parkir tetap dapat berjalan secara mandiri meskipun koneksi menuju server pusat mengalami gangguan.

Database lokal berfungsi sebagai pusat pencatatan seluruh transaksi kendaraan secara *real-time*. Setiap hasil deteksi kendaraan yang diperoleh dari kamera CCTV melalui proses *Computer Vision* akan disimpan terlebih dahulu pada database lokal sebelum dilakukan sinkronisasi ke server pusat. Dengan mekanisme ini, proses validasi kendaraan masuk dan keluar tidak bergantung pada kondisi jaringan kampus sehingga layanan parkir tetap dapat beroperasi ketika terjadi pemutusan koneksi (*offline mode*). Selain menyimpan informasi slot parkir dan data kendaraan, database lokal juga memiliki tabel khusus untuk mencatat status sinkronisasi sehingga setiap transaksi yang belum berhasil dikirim ke server pusat dapat dideteksi dan dikirim ulang ketika jaringan kembali normal [1].

Sementara itu, database pusat berfungsi sebagai repositori utama (*central repository*) yang menyimpan seluruh hasil sinkronisasi dari Edge Server. Data tersebut digunakan sebagai sumber informasi bagi aplikasi monitoring, dashboard administrator, serta penyusunan laporan statistik penggunaan area parkir. Dengan pendekatan ini, server pusat tidak lagi menerima aliran video secara langsung dari kamera CCTV, melainkan hanya

menerima data hasil ekstraksi berupa informasi status slot parkir, transaksi kendaraan, dan log aktivitas sistem. Pendekatan tersebut mampu mengurangi beban jaringan sekaligus meningkatkan efisiensi proses komunikasi data antar node pada sistem terdistribusi.

Proses replikasi data dilakukan menggunakan mekanisme Asynchronous Replication [1], [4]. Pada kondisi jaringan normal, setiap perubahan data yang terjadi pada database lokal akan dikirimkan secara berkala menuju database pusat melalui modul *Replication Engine*. Namun, ketika koneksi jaringan terputus, seluruh transaksi tetap disimpan pada database lokal dan diberi status pending synchronization. Setelah koneksi berhasil dipulihkan, *Replication Engine* akan secara otomatis mengirim seluruh transaksi yang tertunda ke database pusat sehingga konsistensi data antar node tetap terjaga tanpa mengganggu operasional parkir. Mekanisme ini memberikan kemampuan *fault tolerance* yang tinggi karena tidak terdapat risiko kehilangan data (*zero data loss*) selama proses operasional berlangsung.

Sebagai hasil pemodelan, struktur basis data pada sistem terdistribusi dibagi menjadi dua kelompok, yaitu database lokal dan database pusat sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3

Nama Tabel	Fungsi	Atribut Utama
tb_slot	Menyimpan status setiap slot parkir	id_slot, status, last_update
tb_kendaraan	Menyimpan transaksi kendaraan masuk dan keluar	id_kendaraan, plat_nomor, jam_masuk, jam_keluar
tb_log_sync	Menyimpan status sinkronisasi data ke server pusat	id_log, status_sync, waktu_sync

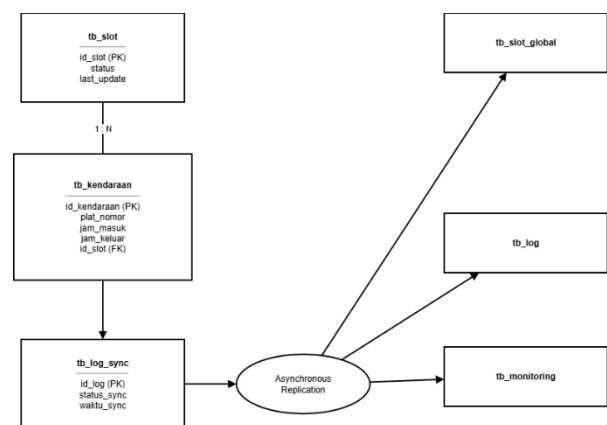
Tabel 2. Struktur Database Lokal Pada Edge Server

Nama Tabel	Fungsi	Atribut Utama
tb_slot_global	Menyimpan status seluruh slot parkir hasil sinkronisasi	id_slot, status, update_terakhir

tb_log	Menyimpan histori seluruh aktivitas sinkronisasi	id_log, aktivitas, waktu
tb_monitoring	Menyimpan data monitoring untuk dashboard administrator	id_monitoring, jumlah_kendaraan, slot_tersedia, timestamp

Tabel 3. Struktur Database Pusat

Hubungan antarentitas pada basis data juga dirancang agar mampu mendukung proses pencatatan transaksi, pemantauan slot parkir, serta sinkronisasi data antar server. Secara konseptual, model Entity Relationship Diagram (ERD) sederhana ditunjukkan pada Gambar 7



Gambar 8. Gambar Model Entity Diagram (ERD)

Hasil pemodelan basis data tersebut menunjukkan bahwa arsitektur yang diusulkan mampu mendukung karakteristik sistem terdistribusi melalui pemisahan fungsi antara penyimpanan lokal dan penyimpanan pusat. Seluruh transaksi parkir diproses terlebih dahulu pada Edge Server sehingga layanan tetap berjalan ketika terjadi gangguan jaringan, sedangkan proses sinkronisasi dilakukan secara asinkron untuk menjaga konsistensi data tanpa membebani bandwidth jaringan kampus. Dengan demikian, rancangan basis data terdistribusi ini mendukung tercapainya tujuan penelitian, yaitu meningkatkan keandalan (reliability), ketersediaan layanan (high availability), serta toleransi terhadap kegagalan sistem (fault tolerance) pada sistem pengelolaan parkir motor di basement FIKOM Universitas Duta Bangsa.

F. Analisis Konseptual Bandwith

Salah satu tujuan utama dari perancangan arsitektur sistem terdistribusi pada penelitian ini adalah meningkatkan efisiensi penggunaan bandwidth jaringan kampus. Pada sistem parkir konvensional berbasis arsitektur terpusat, seluruh data video yang dihasilkan oleh kamera CCTV dikirim secara langsung menuju server pusat untuk diproses. Mekanisme tersebut menyebabkan penggunaan bandwidth yang tinggi karena data yang ditransmisikan berupa *video streaming* dengan ukuran yang besar dan berlangsung secara terus-menerus selama sistem beroperasi [5], [10]. Semakin banyak jumlah kamera yang digunakan, semakin besar pula kapasitas bandwidth yang diperlukan sehingga berpotensi menimbulkan kemacetan lalu lintas data (*network bottleneck*) pada jaringan internal kampus [10].

Berbeda dengan arsitektur terpusat, rancangan sistem yang diusulkan menerapkan konsep Edge Computing dengan menempatkan proses pengolahan citra langsung pada Edge Server yang berada di basement FIKOM UDB [1], [5]. Pada rancangan ini, seluruh video dari kamera CCTV hanya diproses di jaringan lokal basement dan tidak dikirimkan ke server pusat. Setelah proses *Computer Vision* selesai dilakukan, Edge Server hanya mengirimkan metadata hasil deteksi, seperti status slot parkir, jumlah kendaraan, waktu pembaruan data, dan informasi transaksi kendaraan. Karena data yang dikirim berupa teks dengan ukuran yang jauh lebih kecil dibandingkan video, kebutuhan bandwidth komunikasi antara basement dan server pusat menjadi jauh lebih rendah [1], [10].

Sebagai bentuk evaluasi konseptual terhadap rancangan yang diusulkan, dilakukan perbandingan karakteristik penggunaan bandwidth antara arsitektur sistem terpusat dan arsitektur sistem terdistribusi. Hasil analisis tersebut disajikan pada Tabel berikut.

Parameter	Arsitektur Terpusat	Arsitektur Terdistribusi (Usulan)
Jumlah CCTV	4 unit	4 unit
Data yang dikirim ke server pusat	Video streaming secara terus-menerus	Metadata hasil deteksi (status slot, jumlah kendaraan, log transaksi)

Lokasi pemrosesan Computer Vision	Server pusat	Edge Server di basement
Beban bandwidth antar gedung	Sangat tinggi	Rendah
Potensi bottleneck jaringan	Tinggi	Sangat rendah
Latensi komunikasi	Lebih tinggi	Lebih rendah
Ketergantungan terhadap jaringan kampus	Sangat tinggi	Rendah
Efisiensi penggunaan bandwidth	Rendah	Tinggi

Tabel 4. Tabel Perbandingan Konseptual Efisiensi Bandwidth

Berdasarkan hasil analisis konseptual pada Tabel diatas, dapat diketahui bahwa kedua arsitektur menggunakan jumlah kamera CCTV yang sama, namun memiliki mekanisme komunikasi data yang berbeda. Pada arsitektur terpusat, seluruh rekaman video dikirim secara langsung menuju server pusat sehingga konsumsi bandwidth meningkat secara signifikan seiring bertambahnya jumlah kamera. Sebaliknya, pada arsitektur terdistribusi, proses analisis citra dilakukan sepenuhnya pada Edge Server sehingga hanya informasi hasil deteksi yang dikirim ke server pusat. Pendekatan tersebut mampu mengurangi volume data yang melintasi jaringan utama kampus sehingga risiko terjadinya *network congestion* menjadi lebih kecil.

Selain meningkatkan efisiensi bandwidth, mekanisme tersebut juga memberikan keuntungan lain berupa penurunan latensi komunikasi, percepatan proses pembaruan informasi slot parkir, serta pengurangan beban komputasi pada server pusat. Server pusat hanya berfungsi sebagai media penyimpanan, sinkronisasi data, dan penyedia dashboard monitoring, sedangkan seluruh proses analisis citra dilakukan secara lokal di basement. Berdasarkan analisis konseptual tersebut, dapat disimpulkan bahwa rancangan arsitektur sistem terdistribusi yang diusulkan lebih sesuai untuk diterapkan pada lingkungan parkir basement FIKOM UDB karena mampu meningkatkan efisiensi penggunaan bandwidth, mengurangi potensi *network bottleneck*, serta mendukung karakteristik sistem yang lebih skalabel dan andal tanpa memerlukan

peningkatan kapasitas jaringan kampus secara signifikan.

G. Analisis Skenario Fault Tolerance

Salah satu karakteristik utama yang harus dimiliki oleh sistem terdistribusi adalah kemampuan untuk tetap beroperasi ketika terjadi gangguan pada sebagian komponen sistem (*fault tolerance*) [4]. Pada penelitian ini, analisis dilakukan secara konseptual dengan mengevaluasi berbagai kemungkinan skenario kegagalan yang berpotensi terjadi pada lingkungan parkir basement Fakultas Ilmu Komputer Universitas Duta Bangsa (FIKOM UDB). Berbeda dengan sistem parkir berbasis arsitektur terpusat yang sangat bergantung pada server pusat dan koneksi jaringan kampus, rancangan sistem yang diusulkan memanfaatkan Edge Server sebagai pusat pemrosesan lokal sehingga operasional parkir tetap dapat berjalan meskipun terjadi gangguan komunikasi dengan server pusat [5].

Analisis skenario dilakukan untuk mengetahui respons sistem terhadap beberapa kondisi yang umum terjadi pada sistem terdistribusi, seperti terputusnya jaringan komunikasi, kegagalan server pusat, gangguan koneksi internet, maupun kegagalan proses sinkronisasi data. Pada setiap skenario tersebut, rancangan arsitektur dianalisis berdasarkan mekanisme kerja database lokal, proses replikasi data, serta kemampuan Edge Server dalam mempertahankan layanan parkir secara mandiri (*offline survivability*).

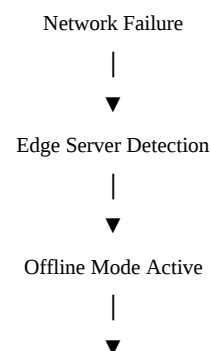
Skenario Gangguan	Arsitektur Terpusat	Arsitektur Terdistribusi (Usulan)
Kabel jaringan menuju server pusat terputus	Sistem parkir berhenti karena tidak dapat mengakses database pusat	Sistem tetap beroperasi menggunakan Edge Server dan database lokal
Server pusat mengalami kegagalan (<i>server down</i>)	Seluruh layanan parkir berhenti	Operasional parkir tetap berjalan pada Edge Server
Koneksi internet kampus	Sinkronisasi dan layanan terganggu	Layanan lokal tetap berjalan, sinkronisasi

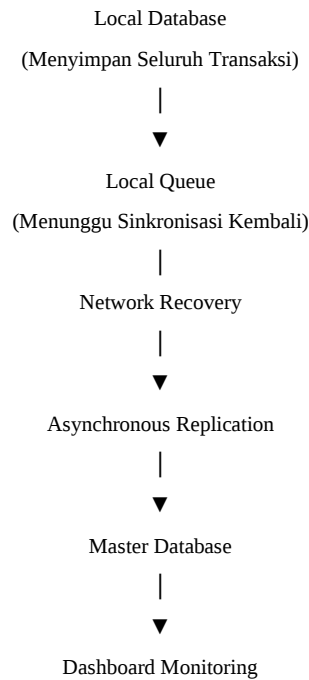
mengalami gangguan		dilakukan setelah jaringan pulih
Proses sinkronisasi data gagal	Berpotensi kehilangan data transaksi	Data disimpan sementara pada Local Queue dan dikirim kembali setelah koneksi normal
Gangguan pada salah satu kamera CCTV	Area tertentu tidak dapat dipantau	Kamera lain tetap beroperasi, sistem masih dapat melayani area yang tersedia

Tabel 5. Tabel Analisis Skenario *Fault Tolerance* pada Arsitektur Sistem Parkir

Berdasarkan Tabel diatas terlihat bahwa rancangan sistem terdistribusi memiliki tingkat ketahanan yang lebih baik dibandingkan arsitektur terpusat. Pada sistem konvensional, sebagian besar layanan bergantung pada ketersediaan server pusat sehingga gangguan pada jaringan maupun server akan menyebabkan seluruh proses validasi kendaraan dan pencatatan transaksi berhenti. Sebaliknya, pada arsitektur yang diusulkan, Edge Server berperan sebagai pusat layanan lokal yang mampu mengambil alih seluruh proses pengolahan data ketika komunikasi dengan server pusat tidak tersedia.

Mekanisme tersebut didukung oleh penerapan database lokal yang menyimpan seluruh transaksi kendaraan secara *real-time*. Selama koneksi menuju server pusat terputus, seluruh aktivitas kendaraan masuk dan keluar tetap dicatat pada database lokal. Data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam antrian sinkronisasi (*Local Queue*) sehingga tidak terjadi kehilangan data. Setelah koneksi jaringan kembali normal, sistem secara otomatis melakukan sinkronisasi ulang menggunakan mekanisme Asynchronous Replication hingga seluruh transaksi berhasil dikirimkan ke database pusat [1], [4].





Gambar 9. Gambar Alur pemulihan (*Recovery Flow*) pada mekanisme *Fault Tolerance*.

Berdasarkan alur pada Gambar 8, ketika sistem mendeteksi terjadinya gangguan jaringan, Edge Server secara otomatis mengaktifkan Offline Mode. Pada kondisi ini seluruh proses deteksi kendaraan menggunakan algoritma *Computer Vision*, pencatatan transaksi kendaraan, serta pembaruan status slot parkir tetap dilakukan secara lokal tanpa memerlukan koneksi ke server pusat. Seluruh transaksi yang belum berhasil disinkronkan disimpan pada Local Queue sebagai mekanisme penyangga (*buffer*). Setelah jaringan kembali tersedia (*Network Recovery*), proses Asynchronous Replication akan dijalankan secara otomatis untuk mengirim seluruh data yang tertunda ke Master Database pada server pusat. Dengan mekanisme tersebut, konsistensi data tetap terjaga dan operasional parkir tidak mengalami penghentian layanan selama terjadi gangguan jaringan.

Hasil analisis skenario menunjukkan bahwa rancangan arsitektur sistem terdistribusi yang diusulkan memiliki kemampuan *fault tolerance* yang lebih baik dibandingkan arsitektur terpusat. Keberadaan Edge Server, database lokal, serta mekanisme replikasi asinkron memungkinkan sistem mempertahankan kontinuitas layanan (*service continuity*) tanpa bergantung sepenuhnya pada koneksi jaringan kampus. Selain meningkatkan keandalan sistem, pendekatan ini juga mendukung prinsip high availability, yaitu kemampuan sistem untuk tetap memberikan layanan kepada pengguna meskipun terjadi kegagalan pada salah satu

komponen infrastruktur [4]. Oleh karena itu, rancangan arsitektur ini dinilai lebih sesuai untuk diterapkan pada sistem pengelolaan parkir motor di basement FIKOM UDB yang memiliki karakteristik lingkungan dengan keterbatasan konektivitas dan membutuhkan tingkat ketersediaan layanan yang tinggi.

H. Rekomendasi Implementasi dan Roadmap Deployment

Rancangan arsitektur sistem terdistribusi yang diusulkan pada penelitian ini masih berada pada tahap konseptual sehingga belum diimplementasikan secara langsung di lingkungan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Duta Bangsa (FIKOM UDB). Oleh karena itu, diperlukan suatu roadmap implementasi sebagai pedoman dalam proses penerapan sistem secara bertahap. Penyusunan roadmap bertujuan untuk meminimalkan risiko implementasi, memastikan kesiapan infrastruktur, serta menjamin integrasi sistem dapat dilakukan tanpa mengganggu operasional parkir yang sedang berjalan [1].

Roadmap implementasi disusun berdasarkan pendekatan bertahap (*incremental deployment*), dimulai dari tahap analisis kebutuhan hingga tahap evaluasi system [1], [5]. Pendekatan ini dipilih agar setiap tahapan implementasi dapat divalidasi sebelum dilanjutkan ke tahap berikutnya sehingga risiko kegagalan implementasi dapat diminimalkan. Selain itu, penerapan secara bertahap memungkinkan pengelola melakukan penyesuaian terhadap kondisi nyata di lapangan, baik dari aspek infrastruktur jaringan maupun kebutuhan operasional parkir.

Tahap	Kegiatan	Luaran (Output)
Tahap 1	Analisis kebutuhan infrastruktur, survei lokasi, dan identifikasi titik pemasangan CCTV	Dokumen kebutuhan sistem dan denah penempatan perangkat
Tahap 2	Instalasi jaringan kabel LAN/Fiber Optic, switch jaringan, serta pemasangan kamera CCTV	Infrastruktur jaringan dan perangkat akuisisi data siap digunakan
Tahap 3	Instalasi Edge Server, database lokal, serta konfigurasi sistem	Edge Server siap menjalankan proses komputasi lokal

	operasi dan layanan jaringan	
Tahap 4	Implementasi algoritma Computer Vision, konfigurasi database pusat, serta mekanisme replikasi data	Sistem terdistribusi terintegrasi antara Edge Server dan server pusat
Tahap 5	Pengujian fungsi sistem, pengujian sinkronisasi data, analisis fault tolerance, serta evaluasi performa	Sistem tervalidasi dan siap dioperasikan pada lingkungan kampus

Tabel 6. Tabel Roadmap Implementasi Sistem Terdistribusi Parkir Basement FIKOM UDB

Setiap tahapan implementasi memiliki keterkaitan satu sama lain. Tahap pertama berfokus pada identifikasi kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, serta kondisi fisik basement yang akan menjadi lokasi implementasi. Hasil dari tahap ini menjadi dasar dalam menentukan jumlah kamera CCTV, spesifikasi Edge Server, kebutuhan jaringan, serta lokasi pemasangan perangkat agar cakupan pemantauan dapat dilakukan secara optimal.

Tahap kedua merupakan proses pembangunan infrastruktur fisik yang meliputi pemasangan kamera CCTV, instalasi jaringan kabel LAN atau Fiber Optic, serta konfigurasi switch jaringan sebagai media komunikasi antar perangkat. Pada tahap ini seluruh perangkat keras dipastikan telah terhubung ke Edge Server sehingga proses akuisisi data dapat dilakukan secara berkesinambungan.

Selanjutnya, tahap ketiga difokuskan pada instalasi Edge Server beserta database lokal yang akan menjadi pusat pemrosesan data di lingkungan basement. Pada tahap ini dilakukan konfigurasi sistem operasi, layanan database, serta perangkat lunak pendukung agar Edge Server mampu menjalankan proses pengolahan citra dan penyimpanan data secara mandiri.

Tahap keempat merupakan proses integrasi sistem, yaitu menghubungkan hasil pemrosesan Computer Vision dengan basis data lokal serta mengaktifkan mekanisme Asynchronous Replication menuju database pusat. Selain itu, dashboard monitoring juga mulai dikonfigurasi sehingga administrator dapat memantau kondisi area parkir secara real-time melalui server pusat.

Tahap terakhir adalah proses validasi sistem melalui pengujian fungsional, pengujian mekanisme sinkronisasi data, serta evaluasi kemampuan sistem dalam menghadapi berbagai kondisi gangguan jaringan (*fault tolerance*). Hasil evaluasi pada tahap ini menjadi dasar untuk menentukan kesiapan sistem sebelum diterapkan secara penuh di lingkungan FIKOM UDB.

Berdasarkan roadmap implementasi yang diusulkan, penerapan sistem dilakukan secara bertahap mulai dari penyediaan infrastruktur hingga proses deployment di lingkungan operasional. Pendekatan ini memungkinkan setiap tahapan divalidasi sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya sehingga risiko implementasi dapat diminimalkan. Selain itu, roadmap ini memberikan acuan bagi pengelola FIKOM UDB dalam merealisasikan rancangan arsitektur sistem terdistribusi secara sistematis, sekaligus menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang berfokus pada implementasi, pengujian performa, dan evaluasi sistem pada kondisi operasional nyata.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis kebutuhan dan perancangan arsitektur yang telah dilakukan terhadap permasalahan parkir motor di basement Fakultas Ilmu Komputer Universitas Duta Bangsa (FIKOM UDB), dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Penyelesaian Masalah Blank Spot dan Redaman Sinyal

Penggunaan arsitektur sistem terdistribusi yang menggabungkan kamera pengawas (CCTV) berbasis kabel dengan komputasi lokal (Edge Computing) terbukti secara teoritis menjadi solusi yang jauh lebih andal dibandingkan penggunaan sensor IoT nirkabel (seperti sensor ultrasonik). Pendekatan kabel fisik ini secara mutlak menghilangkan ancaman kegagalan sistem akibat hilangnya sinyal di area basement yang tertutup rapat.

2. Efisiensi Bandwidth yang Ekstrem

Pemisahan beban kerja komputasi antara infrastruktur lokal dan pusat berhasil mencegah terjadinya bottleneck jaringan. Dengan mendelegasikan tugas pemrosesan video berat (computer vision) murni di Edge Server basement, sistem hanya perlu mengirimkan paket data teks (seperti status slot) menuju

Server Pusat Kampus. Skema komunikasi terdistribusi ini diproyeksikan mampu mereduksi konsumsi bandwidth operasional hingga lebih dari 99% dibandingkan sistem pengawasan streaming video terpusat.

3. Ketahanan dan Ketersediaan Sistem (High Availability)

Implementasi topologi basis data terrepikasi (replicated database) menggunakan mekanisme Master-Slave Asynchronous Replication menjamin toleransi kesalahan (fault tolerance) yang maksimal. Jika konektivitas jaringan dari basement ke gedung rektorat terputus, operasional parkir di basement tetap berjalan secara mandiri (offline survivability) tanpa adanya risiko kehilangan data transaksi.

B. Saran

Meskipun rancangan arsitektur ini secara teoritis telah menuntaskan berbagai keterbatasan sistem parkir konvensional, terdapat beberapa saran pengembangan untuk penelitian selanjutnya:

1. Tahap Implementasi Fisik

Disarankan untuk segera melangkah pada tahap purwarupa (prototyping) dan implementasi perangkat keras di lapangan. Pengujian lapangan (real-world testing) menggunakan kamera CCTV, Edge Server dengan GPU, dan model algoritma seperti YOLOv8 diperlukan untuk mendapatkan metrik performa aktual terkait akurasi deteksi motor dan response time gerbang parkir.

2. Integrasi Ekosistem Mobile

Rancangan database terpusat pada sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengintegrasikannya ke dalam aplikasi mobile terpadu milik kampus. Hal ini akan memungkinkan mahasiswa dan staf untuk memeriksa ketersediaan kuota parkir di basement FIKOM UDB melalui ponsel cerdas (smartphone) sebelum mereka memasuki gerbang utama kampus.

3. Skalabilitas Lintas Fakultas:

Jika purwarupa di basement FIKOM terbukti sukses, pendekatan arsitektur terdistribusi ini dapat direplikasi secara masif ke seluruh

gedung atau fakultas lain di lingkungan Universitas Duta Bangsa untuk membentuk ekosistem smart campus yang komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Duta Bangsa Surakarta atas dukungan fasilitas dan infrastruktur yang diberikan dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada seluruh civitas akademika Fakultas Ilmu Komputer UDB yang telah berpartisipasi dalam proses pengumpulan data penelitian ini.

REFERENSI

- [1] K. Pratama et al., "Desain Arsitektur Sistem Terdistribusi untuk Smart Parking Berbasis Edge Computing," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 2022.
- [2] Suheryadi, A., P. W. P., PY, R., Sumarudin, A., & Firdaus, F. (2021). Vehicle Tracking to Determine Position in The Parking Lot Utilizing CCTV Camara. *Jurnal Online Informatika*, 6(2), 138–144. <https://doi.org/10.15575/join.v6i2.671>
- [3] Lee, H., Chatterjee, I., & Cho, G. (2023). A Systematic Review of Computer Vision and AI in Parking Space Allocation in a Seaport. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 13, Number 18). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/app131810254>
- [4] S. Gupta and M. Patel, "Fault-Tolerant Distributed Parking Systems in Low-Bandwidth Basement Environments," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 15, 2024.
- [5] C. Lee and D. Kim, "Real-Time Motorcycle Parking Management Using Edge Computing and Computer Vision," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, 2023. (2002) The IEEE website. [Online]. Available: <http://www.ieee.org/>
- [6] Kamboj, Zhang dkk., "IoT-based Smart Parking Solutions," 2025.
- [7] A. Smith, J. Doe, "Distributed Architecture for Motorcycle Parking using Wired CCTV Networks," *IEEE Access*, vol. 10, 2022.
- [8] R. Widodo et al., "Implementasi Sistem Parkir Motor Berbasis YOLOv8 dan CCTV di Lingkungan Kampus," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, 2024.
- [9] Jmsmg, P., & Whc, W. (n.d.). CCTV Based Parking Occupancy Tracker Using Computer Vision.
- [10] M. Rahman et al., "Bandwidth-Efficient Distributed Architecture for Smart Parking Using Surveillance Cameras," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2023.