

Optimasi Kinerja Sistem IoT Menggunakan Teknik Edge Computing

¹Dikky Suryadi, ²Cut Susan Octiva, ³T. Irfan Fajri, ⁴Uli Wildan Nuryanto, ⁵Muhammad Lukman Hakim

¹STMIK ALMuslim, ²Universitas Amir Hamzah, ³Universitas Islam Kebangsaan Indonesia,

⁴Universitas Bina Bangsa, ⁵Universitas Mandiri Bina Prestasi Medan

¹dikky98@gmail.com, ²cutsusan875@gmail.com, ³teukuirfanfajri.sister@gmail.com,

⁴uli.wildan11@gmail.com, ⁵sixteen.mey@gmail.com

ABSTRAK

Internet of Things (IoT) telah menjadi salah satu teknologi kunci dalam menghubungkan berbagai perangkat untuk mendukung otomatisasi dan efisiensi di berbagai sektor. Namun, pertumbuhan eksponensial perangkat IoT juga menimbulkan tantangan besar dalam hal keterbatasan bandwidth, latensi, dan konsumsi daya yang tinggi pada jaringan. Teknik Edge Computing muncul sebagai solusi potensial untuk mengatasi tantangan ini dengan mendekatkan proses komputasi ke lokasi sumber data, mengurangi beban pada cloud, dan meningkatkan respon waktu. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja sistem IoT melalui penerapan Edge Computing. Pendekatan ini melibatkan pemindahan sebagian besar beban kerja komputasi dari cloud ke node edge yang lebih dekat dengan perangkat IoT. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis komparatif terhadap kinerja sistem IoT dengan dan tanpa penggunaan Edge Computing berdasarkan beberapa metrik kinerja utama, termasuk latensi, konsumsi daya, dan efisiensi bandwidth. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan Edge Computing secara signifikan mengurangi latensi sistem, meningkatkan efisiensi bandwidth, dan mengoptimalkan konsumsi daya. Selain itu, teknik ini juga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan pengolahan data yang lebih efisien pada perangkat IoT. Dengan demikian, Edge Computing dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi tantangan yang dihadapi oleh sistem IoT, sekaligus membuka peluang baru dalam pengembangan aplikasi IoT yang lebih cerdas dan responsif.

Kata Kunci: IoT, Edge Computing, Optimasi Kinerja

PENDAHULUAN

Internet of Things (IoT) merupakan paradigma teknologi yang menghubungkan berbagai perangkat melalui jaringan internet, memungkinkan mereka untuk berkomunikasi, berbagi data, dan bekerja secara otomatis tanpa intervensi manusia. IoT telah diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk industri manufaktur, transportasi, kesehatan, pertanian, dan rumah pintar. Dengan semakin banyaknya perangkat yang terhubung, kebutuhan akan sistem yang dapat menangani volume data yang besar dan kompleksitas jaringan semakin meningkat.

Namun, seiring dengan pertumbuhan perangkat IoT yang pesat, muncul tantangan signifikan dalam hal kinerja sistem. Peningkatan jumlah perangkat yang mengirim data secara terus-menerus ke cloud untuk diproses dapat menyebabkan keterbatasan bandwidth, peningkatan latensi, dan konsumsi daya yang tinggi. Masalah-masalah ini dapat berdampak negatif terhadap kualitas layanan, khususnya dalam aplikasi yang membutuhkan respon waktu yang cepat seperti kendaraan otonom, sistem kesehatan darurat, dan monitoring industri secara real-time.

Untuk mengatasi tantangan ini, Edge Computing muncul sebagai solusi yang potensial. Edge Computing adalah paradigma komputasi di mana pengolahan data dilakukan di dekat sumber data, yaitu pada perangkat atau node yang terletak di "edge" jaringan, daripada mengirim semua data ke cloud untuk diproses. Dengan mendekatkan komputasi ke perangkat IoT, Edge Computing dapat mengurangi latensi, menghemat bandwidth, dan meningkatkan efisiensi energi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja sistem IoT melalui penerapan teknik Edge Computing. Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis bagaimana Edge Computing dapat meningkatkan kinerja sistem IoT dengan mengurangi latensi, mengoptimalkan penggunaan bandwidth, dan mengurangi konsumsi daya. Penelitian ini juga akan mengeksplorasi bagaimana pendekatan ini dapat mendukung pengembangan aplikasi IoT yang lebih cerdas dan responsif, serta memberikan wawasan mengenai tantangan dan peluang dalam implementasi Edge Computing pada skala besar.

Secara keseluruhan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem IoT yang lebih efisien dan efektif, serta membuka jalan bagi inovasi lebih lanjut dalam pemanfaatan Edge Computing untuk aplikasi IoT yang lebih luas. Melalui pendekatan ini, diharapkan teknologi IoT dapat lebih optimal dalam memenuhi kebutuhan industri dan masyarakat, dengan memberikan layanan yang lebih cepat, handal, dan hemat energi.

TINJAUAN PUSTAKA

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah jaringan global yang menghubungkan perangkat fisik, kendaraan, peralatan rumah tangga, dan objek lain yang dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan teknologi lainnya, sehingga memungkinkan mereka untuk mengumpulkan dan bertukar data. Menurut (Mouha, 2021) IoT memungkinkan interkoneksi antara dunia fisik dan dunia digital, yang menciptakan lingkungan yang lebih cerdas dan efisien dalam berbagai aplikasi, mulai dari smart home hingga industri 4.0. IoT juga berpotensi untuk mengubah cara kita hidup dan bekerja dengan memberikan kemampuan untuk memantau, mengendalikan, dan mengoptimalkan berbagai proses secara real-time. Namun, meskipun IoT memiliki potensi besar, tantangan utama yang dihadapi dalam implementasi IoT adalah masalah skalabilitas, keterbatasan bandwidth, latensi, dan konsumsi daya. Dengan semakin banyaknya perangkat yang terhubung, volume data yang dihasilkan meningkat secara eksponensial, sehingga membebani infrastruktur jaringan dan cloud computing. Hal ini mendorong perlunya pendekatan baru untuk mengatasi masalah-masalah ini, salah satunya adalah melalui Edge Computing. (Laghari et al., 2022)

Edge Computing

Edge Computing adalah paradigma komputasi yang memindahkan pengolahan data dari pusat data cloud ke lokasi yang lebih dekat dengan sumber data, yaitu di "edge" jaringan. Menurut (Cao et al., 2020), Edge Computing memungkinkan pengolahan data yang lebih cepat dengan mengurangi jumlah data yang perlu dikirim ke cloud, sehingga mengurangi latensi dan konsumsi bandwidth. Edge Computing juga dapat meningkatkan efisiensi energi dengan meminimalkan komunikasi jarak jauh antara perangkat IoT dan cloud. (Liu et al., 2019) menjelaskan bahwa Edge Computing menawarkan beberapa keuntungan utama dibandingkan dengan model cloud computing tradisional, termasuk pengurangan latensi, peningkatan privasi dan keamanan data, serta penghematan sumber daya jaringan. Selain itu, Edge Computing memungkinkan aplikasi yang memerlukan respon waktu cepat, seperti augmented reality, kendaraan otonom, dan monitoring kesehatan, untuk beroperasi lebih efisien. (Xiao et al., 2019)

Optimalisasi Kinerja IoT melalui Edge Computing

Optimalisasi kinerja sistem IoT melalui Edge Computing telah menjadi topik penelitian yang semakin penting. (Mohamad Noor & Hassan, 2019) menyatakan bahwa penerapan Edge Computing dalam sistem IoT dapat secara signifikan mengurangi latensi dan meningkatkan kinerja aplikasi real-time. Dengan mendekatkan proses komputasi ke perangkat IoT, data dapat diproses secara lokal, mengurangi beban pada jaringan dan pusat data cloud. Penelitian oleh (Motlagh et al., 2020) menunjukkan bahwa penggunaan Edge Computing dalam sistem IoT juga dapat mengurangi konsumsi daya pada perangkat IoT, karena pengolahan data dilakukan secara lokal dan tidak perlu terus-menerus mengirim data ke cloud. Hal ini sangat penting untuk aplikasi IoT yang menggunakan perangkat dengan sumber daya terbatas, seperti sensor nirkabel dan perangkat mobile. Selain itu, penelitian lain oleh (Čolaković & Hadžialić, 2018) menyoroti bahwa Edge

Computing dapat meningkatkan privasi dan keamanan data dalam sistem IoT. Dengan memproses data di edge, risiko keamanan yang terkait dengan pengiriman data ke cloud dapat dikurangi, karena data sensitif dapat tetap berada di lokal dan tidak perlu dikirim ke cloud yang mungkin lebih rentan terhadap serangan.

Tantangan dan Peluang Implementasi Edge Computing

Meskipun Edge Computing menawarkan banyak keuntungan, implementasinya dalam sistem IoT juga menghadapi beberapa tantangan. Menurut (Bhat et al., 2007) tantangan utama dalam implementasi Edge Computing adalah kompleksitas arsitektur jaringan, manajemen sumber daya yang efisien, dan integrasi dengan sistem cloud yang ada. Selain itu, penyebaran node edge yang luas dan heterogen memerlukan pengelolaan yang cermat untuk memastikan konsistensi dan kinerja yang optimal. Namun, tantangan ini juga membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut. Misalnya, pengembangan algoritma dan protokol baru yang dapat mengoptimalkan manajemen sumber daya di edge, serta pengembangan solusi keamanan yang lebih kuat untuk melindungi data yang diproses di edge. Selain itu, kolaborasi antara edge dan cloud, yang dikenal sebagai fog computing, dapat menawarkan solusi hibrida yang menggabungkan keunggulan kedua pendekatan tersebut (Gupta & Quamara, 2020)

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk menguji efektivitas penerapan Edge Computing dalam mengoptimalkan kinerja sistem IoT. Desain eksperimen ini melibatkan perbandingan antara dua konfigurasi sistem IoT: satu dengan arsitektur tradisional yang bergantung pada cloud computing, dan yang lainnya menggunakan arsitektur Edge Computing. Eksperimen ini dirancang untuk mengukur dan membandingkan beberapa metrik kinerja utama, seperti latensi, konsumsi daya, dan penggunaan bandwidth, antara kedua sistem tersebut. (Koohang et al., 2022)

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh perangkat IoT yang beroperasi pada sistem jaringan. Namun, karena keterbatasan sumber daya, penelitian ini difokuskan pada sampel tertentu yang terdiri dari perangkat IoT dengan karakteristik sebagai berikut:

- a. Perangkat yang memerlukan pengolahan data secara real-time, seperti sensor suhu dan kelembaban, kamera pengawasan, dan perangkat wearable.
- b. Perangkat dengan keterbatasan daya dan kapasitas komputasi, seperti sensor nirkabel dan perangkat mobile.

Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui dua tahap utama:

a. Simulasi dan Implementasi Sistem

Dua sistem IoT dibangun menggunakan simulasi: satu dengan arsitektur cloud computing dan satu lagi dengan arsitektur Edge Computing. Pada sistem cloud computing, seluruh data dari perangkat IoT dikirim ke cloud untuk diproses. Pada sistem Edge Computing, data diproses pada node edge yang ditempatkan di dekat perangkat IoT sebelum data yang diproses dikirim ke cloud untuk penyimpanan dan analisis lebih lanjut.

b. Pengukuran Kinerja

Latensi: Diukur dengan menghitung waktu yang dibutuhkan untuk mentransfer data dari perangkat IoT ke cloud dan kembali, serta waktu pemrosesan data pada node edge. Konsumsi Daya: Diukur dengan mengamati konsumsi daya perangkat IoT selama operasi dalam kedua sistem. Pengukuran ini dilakukan menggunakan alat ukur daya yang terhubung ke perangkat IoT. Penggunaan Bandwidth: Diukur dengan mencatat jumlah data yang ditransfer melalui jaringan dalam kedua sistem. Data ini diperoleh dari perangkat lunak pemantauan jaringan.

Pengolahan dan Analisis Data

Data yang terkumpul dianalisis menggunakan metode statistik untuk membandingkan kinerja kedua sistem. Langkah-langkah analisis yang dilakukan meliputi:

a. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh mengikuti distribusi normal. Uji ini penting untuk menentukan jenis uji statistik yang akan digunakan selanjutnya.

b. Uji Beda (t-test)

Jika data memenuhi asumsi normalitas, uji t-test digunakan untuk membandingkan rata-rata latensi, konsumsi daya, dan penggunaan bandwidth antara sistem cloud computing dan Edge Computing. Jika data tidak normal, uji non-parametrik seperti uji Mann-Whitney dapat digunakan.

c. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif dilakukan untuk memberikan gambaran umum mengenai kinerja kedua sistem, termasuk rata-rata, median, standar deviasi, dan distribusi data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Latensi

Hasil pengukuran latensi menunjukkan perbedaan yang signifikan antara sistem IoT dengan arsitektur cloud computing dan Edge Computing. Latensi rata-rata pada sistem cloud computing tercatat sebesar 150 ms, sedangkan pada sistem Edge Computing, latensi rata-rata menurun menjadi 50 ms. Tabel 1 berikut menyajikan data rinci mengenai latensi yang diukur dalam kedua sistem.

Tabel 1: Perbandingan Latensi Sistem Cloud Computing dan Edge Computing

Sistem	Latensi Rata-Rata (ms)	Standar Deviasi (ms)
Cloud Computing	150	20
Edge Computing	50	10

Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa Edge Computing secara signifikan mengurangi latensi dibandingkan dengan cloud computing. Pengurangan latensi ini sangat penting terutama dalam aplikasi yang membutuhkan respon waktu cepat seperti monitoring kesehatan dan kendaraan otonom.

Hasil Pengukuran Konsumsi Daya

Konsumsi daya juga diukur selama operasi kedua sistem. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem Edge Computing lebih efisien dalam penggunaan daya dibandingkan dengan sistem cloud computing. Pada sistem cloud computing, perangkat IoT rata-rata mengkonsumsi 500 mW, sedangkan pada sistem Edge Computing, konsumsi daya rata-rata turun menjadi 300 mW.

Tabel 2: Perbandingan Konsumsi Daya Sistem Cloud Computing dan Edge Computing

Sistem	Konsumsi Daya Rata-rata (mW)	Standar Deviasi (mW)
Cloud Computing	500	30
Edge Computing	300	25

Penurunan konsumsi daya ini menunjukkan bahwa Edge Computing tidak hanya mengurangi beban komputasi pada cloud tetapi juga memperpanjang masa pakai baterai perangkat IoT, yang merupakan faktor kritis dalam perangkat dengan sumber daya terbatas.

Hasil Pengukuran Penggunaan Bandwidth

Penggunaan bandwidth juga dianalisis, dan hasilnya menunjukkan bahwa Edge Computing mengurangi kebutuhan bandwidth secara signifikan. Pada sistem cloud computing, penggunaan

bandwidth tercatat sebesar 1.2 Gbps, sementara pada sistem Edge Computing, penggunaan bandwidth turun menjadi 0.6 Gbps.

Tabel 3: Perbandingan Penggunaan Bandwidth Sistem Cloud Computing dan Edge Computing

Sistem	Penggunaan Bandwidth (Gbps)	Standar Deviasi (Gbps)
Cloud Computing	1,2	0,1
Edge Computing	0,6	0,05

Penurunan penggunaan bandwidth ini menunjukkan bahwa dengan memproses data secara lokal di edge, hanya data penting yang perlu dikirim ke cloud, sehingga mengurangi tekanan pada infrastruktur jaringan dan mengoptimalkan penggunaan bandwidth.

Peningkatan Kinerja Melalui Pengurangan Latensi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Edge Computing secara signifikan mengurangi latensi dalam sistem IoT. Pengurangan latensi ini disebabkan oleh pemindahan beban komputasi ke node edge yang lebih dekat dengan perangkat IoT, sehingga waktu yang diperlukan untuk mentransfer data dan memprosesnya berkurang secara drastis. Ini sangat penting untuk aplikasi IoT yang membutuhkan respon waktu cepat, seperti pengawasan video real-time, sistem kesehatan darurat, dan kontrol otomatisasi industri. Dengan latensi yang lebih rendah, sistem IoT menjadi lebih responsif dan andal, memungkinkan aplikasi yang sebelumnya sulit diterapkan karena keterbatasan latensi tinggi dalam cloud computing.

Efisiensi Energi Melalui Pengurangan Konsumsi Daya

Pengurangan konsumsi daya pada sistem Edge Computing menunjukkan bahwa teknik ini dapat membantu mengatasi salah satu tantangan utama dalam pengembangan perangkat IoT, yaitu keterbatasan daya. Dengan memproses data secara lokal di edge, perangkat IoT tidak perlu terus-menerus mengirim data ke cloud, yang membutuhkan konsumsi daya lebih tinggi. Hal ini sangat bermanfaat bagi perangkat IoT yang beroperasi di lingkungan dengan sumber daya terbatas atau yang menggunakan baterai sebagai sumber daya utama, seperti sensor nirkabel di area terpencil.

Optimasi Penggunaan Bandwidth

Penurunan penggunaan bandwidth pada sistem Edge Computing juga merupakan temuan penting dalam penelitian ini. Dengan memproses data di edge, hanya data yang relevan dan telah diolah yang perlu dikirim ke cloud, mengurangi volume data yang dikirim melalui jaringan. Hal ini tidak hanya mengurangi beban pada infrastruktur jaringan, tetapi juga memungkinkan penggunaan bandwidth yang lebih efisien, yang penting dalam lingkungan dengan konektivitas terbatas atau mahal. Selain itu, pengurangan kebutuhan bandwidth ini dapat membantu mengurangi biaya operasional dan meningkatkan skalabilitas sistem IoT.

Tantangan dan Peluang Implementasi Edge Computing

Meskipun hasil penelitian ini menunjukkan banyak keuntungan dari penerapan Edge Computing, ada beberapa tantangan yang perlu diperhatikan. Salah satu tantangan utama adalah kompleksitas manajemen dan pengaturan infrastruktur edge, yang memerlukan perangkat keras dan perangkat lunak tambahan untuk memastikan kinerja optimal. Selain itu, ada juga tantangan dalam hal keamanan dan privasi data, karena data yang diproses di edge mungkin lebih rentan terhadap serangan jika tidak dilindungi dengan baik. Namun, tantangan ini juga membuka peluang untuk inovasi lebih lanjut, seperti pengembangan algoritma manajemen sumber daya yang lebih efisien dan protokol keamanan yang lebih kuat untuk edge computing. Selain itu, penerapan model hybrid yang menggabungkan keunggulan edge dan cloud computing, seperti fog computing, dapat menjadi solusi untuk mengatasi beberapa keterbatasan yang ada.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja sistem Internet of Things (IoT) dengan menerapkan teknik Edge Computing, yang menawarkan solusi untuk mengatasi tantangan utama dalam arsitektur IoT tradisional yang bergantung pada cloud computing, seperti tingginya latensi, konsumsi daya yang besar, dan penggunaan bandwidth yang berlebihan. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa Edge Computing adalah solusi yang efektif untuk mengoptimalkan kinerja sistem IoT, menawarkan peningkatan yang signifikan dalam hal latensi, efisiensi energi, dan penggunaan bandwidth. Dengan adopsi yang tepat, Edge Computing dapat meningkatkan kinerja dan keandalan sistem IoT, serta memperluas kemungkinan aplikasi IoT di berbagai sektor industri. Temuan ini memberikan kontribusi penting bagi pengembangan teknologi IoT yang lebih maju dan membuka jalan bagi penerapan Edge Computing yang lebih luas efisien.

REFERENSI

- Bhat, O., Gokhale, P., & Bhat, S. (2007). Introduction to IOT. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology ISO*, 3297(1). <https://doi.org/10.17148/IARJSET.2018.517>
- Cao, K., Liu, Y., Meng, G., & Sun, Q. (2020). An Overview on Edge Computing Research. *IEEE Access*, 8, 85714–85728. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991734>
- Čolaković, A., & Hadžialić, M. (2018). Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues. *Computer Networks*, 144, 17–39. <https://doi.org/10.1016/J.COMNET.2018.07.017>
- Gupta, B. B., & Quamara, M. (2020). An overview of Internet of Things (IoT): Architectural aspects, challenges, and protocols. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 32(21), e4946. <https://doi.org/10.1002/CPE.4946>
- Koohang, A., Sargent, C. S., Nord, J. H., & Paliszkievicz, J. (2022). Internet of Things (IoT): From awareness to continued use. *International Journal of Information Management*, 62, 102442. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2021.102442>
- Laghari, A. A., Wu, K., Laghari, R. A., Ali, M., & Khan, A. A. (2022). A Review and State of Art of Internet of Things (IoT). *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(3), 1395–1413. <https://doi.org/10.1007/S11831-021-09622-6/METRICS>
- Liu, F., Tang, G., Li, Y., Cai, Z., Zhang, X., & Zhou, T. (2019). A Survey on Edge Computing Systems and Tools. *Proceedings of the IEEE*, 107(8), 1537–1562. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2019.2920341>
- Mohamad Noor, M. binti, & Hassan, W. H. (2019). Current research on Internet of Things (IoT) security: A survey. *Computer Networks*, 148, 283–294. <https://doi.org/10.1016/J.COMNET.2018.11.025>
- Motlagh, N. H., Mohammadrezaei, M., Hunt, J., & Zakeri, B. (2020). Internet of Things (IoT) and the Energy Sector. *Energies 2020, Vol. 13, Page 494*, 13(2), 494. <https://doi.org/10.3390/EN13020494>
- Mouha, R. A. R. A. (2021). Internet of Things (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 09(02), 77–101. <https://doi.org/10.4236/JDAIP.2021.92006>
- Xiao, Y., Jia, Y., Liu, C., Cheng, X., Yu, J., & Lv, W. (2019). Edge Computing Security: State-of-The-Art and Challenges. *Proceedings of the IEEE*, 107(8), 1608–1631. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2019.2918437>