



Optimalisasi Kinerja Sistem Menggunakan Pendekatan Load Balancing Dinamis

Heru Purwanto¹, Yusrodi², Rurus Kurniawan³

^{1,2,3} Sekolah Tinggi Manajemen Teknologi dan Informatika Pranata Indonesia

email: ¹ herupurwanto.stmikpi@gmail.com

ABSTRAK

Kata kunci:

load balancing dinamis
sistem distribusi
throughput
waktu response
utilisasi CPU

Keywords:

dynamic load balancing
distributed systems
throughput
response time
CPU utilization

Perkembangan teknologi komputasi modern menuntut sistem yang mampu menangani beban kerja dalam jumlah besar secara cepat, efisien, dan stabil. Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada sistem terdistribusi adalah ketidakseimbangan distribusi beban kerja antar server yang dapat menyebabkan peningkatan waktu respons, penurunan throughput, serta pemanfaatan sumber daya yang tidak optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan load balancing dinamis dalam meningkatkan kinerja sistem terdistribusi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan membandingkan performa sistem sebelum dan sesudah penerapan algoritma Adaptive Round Robin. Parameter yang dianalisis meliputi waktu respons, throughput, utilisasi CPU, dan Load Balance Index (LBI). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan load balancing dinamis mampu menurunkan waktu respons hingga 48,55%, meningkatkan throughput sistem, serta menghasilkan distribusi beban yang lebih merata pada setiap node server. Selain itu, utilisasi sumber daya menjadi lebih optimal sehingga risiko terjadinya overload dapat diminimalkan. Berdasarkan hasil penelitian, load balancing dinamis terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi pemrosesan dan menjaga stabilitas sistem pada lingkungan komputasi terdistribusi.

ABSTRACT

Modern computing systems require high processing capabilities and efficient workload distribution to maintain service quality. Uneven workload allocation in distributed systems may increase response time, reduce throughput, and lead to inefficient resource utilization. This study aimed to analyze the impact of dynamic load balancing on distributed system performance. An experimental method was employed by comparing system performance before and after the implementation of the Adaptive Round Robin algorithm. The evaluated parameters included response time, throughput, CPU utilization, and Load Balance Index (LBI). The results showed that dynamic load balancing reduced response time by up to 48.55%, improved throughput, and provided a more balanced workload distribution across server nodes. These findings indicate that dynamic load balancing is an effective approach for improving processing efficiency and maintaining system stability in distributed computing environments.

PENDAHULUAN

Berbagai aplikasi seperti komputasi awan, layanan web, basis data terdistribusi, dan sistem informasi skala besar memerlukan kemampuan pemrosesan yang tinggi agar dapat memberikan layanan secara cepat dan andal. Dalam kondisi tersebut, distribusi beban kerja

yang tidak merata sering kali menjadi penyebab utama terjadinya bottleneck pada sistem, sehingga mengakibatkan penurunan performa dan efisiensi penggunaan sumber daya.

Load balancing merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk mendistribusikan beban kerja ke beberapa server atau node komputasi agar tidak terjadi penumpukan tugas pada satu sumber daya tertentu. Dengan distribusi beban yang merata, sistem dapat meningkatkan ketersediaan layanan, mempercepat waktu respons, dan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya yang tersedia [1], [2], [3]. Secara umum, metode load balancing dapat dibedakan menjadi load balancing statis dan load balancing dinamis. Metode statis melakukan pembagian beban berdasarkan aturan yang telah ditentukan sebelumnya, sedangkan metode dinamis mampu menyesuaikan distribusi beban berdasarkan kondisi sistem secara real-time [4], [3].

Penerapan load balancing dinamis menjadi semakin penting pada lingkungan komputasi modern karena karakteristik beban kerja yang berubah-ubah secara cepat dan sulit diprediksi. Sistem yang mampu melakukan redistribusi tugas secara adaptif akan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menjaga performa serta mengurangi risiko terjadinya overload pada server tertentu. Oleh karena itu, diperlukan kajian mengenai efektivitas load balancing dinamis dalam meningkatkan kinerja sistem terdistribusi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan load balancing dinamis terhadap performa sistem terdistribusi. Analisis dilakukan dengan membandingkan beberapa parameter kinerja seperti utilisasi CPU, throughput, waktu respons, dan pemerataan distribusi beban sebelum dan sesudah penerapan load balancing dinamis. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai manfaat implementasi load balancing dinamis dalam mendukung efisiensi pemrosesan data pada sistem komputer modern.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh penerapan load balancing dinamis terhadap peningkatan kinerja sistem terdistribusi. Metode eksperimen dipilih karena mampu memberikan gambaran yang objektif mengenai perubahan performa sistem berdasarkan perlakuan yang diberikan. Penelitian dilakukan dengan membandingkan kondisi sistem sebelum dan sesudah penerapan mekanisme load balancing dinamis pada lingkungan komputasi yang terdiri dari beberapa node server yang bekerja secara bersamaan dalam melayani permintaan pengguna.

Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur yang bertujuan untuk mengumpulkan informasi mengenai konsep sistem terdistribusi, load balancing, algoritma distribusi beban, serta parameter-parameter yang digunakan dalam pengukuran performa sistem komputer. Studi literatur dilakukan melalui penelaahan berbagai jurnal ilmiah, buku referensi, dan artikel

penelitian yang berkaitan dengan optimasi kinerja sistem menggunakan pendekatan load balancing. Hasil studi literatur digunakan sebagai dasar dalam menentukan metode pengujian, parameter evaluasi, serta algoritma yang digunakan dalam penelitian [1]–[5].

Setelah proses studi literatur selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah perancangan lingkungan pengujian. Lingkungan pengujian terdiri atas satu buah load balancer dan empat buah server yang berfungsi sebagai node pemrosesan. Setiap server memiliki spesifikasi perangkat keras yang sama untuk memastikan bahwa perbedaan performa yang diperoleh selama pengujian tidak dipengaruhi oleh faktor perbedaan kemampuan perangkat keras. Sistem dirancang menggunakan arsitektur client-server, di mana seluruh permintaan pengguna akan diterima terlebih dahulu oleh load balancer sebelum didistribusikan ke server yang tersedia.

Pada penelitian ini digunakan algoritma Adaptive Round Robin sebagai mekanisme load balancing dinamis. Algoritma tersebut merupakan pengembangan dari metode Round Robin konvensional yang mampu menyesuaikan distribusi beban berdasarkan kondisi aktual setiap server [4], [5]. Informasi mengenai utilisasi CPU, penggunaan memori, serta jumlah koneksi aktif digunakan sebagai dasar dalam menentukan server tujuan untuk setiap permintaan yang masuk. Dengan mekanisme tersebut, distribusi beban dapat dilakukan secara lebih merata dibandingkan metode statis yang hanya menggunakan urutan pembagian beban tanpa mempertimbangkan kondisi sistem secara real-time.

Untuk memperoleh hasil yang representatif, pengujian dilakukan menggunakan beberapa skenario beban kerja yang berbeda. Beban kerja direpresentasikan dalam bentuk jumlah request yang dikirimkan secara simultan ke sistem. Variasi beban kerja yang digunakan meliputi 500 request, 1000 request, 2000 request, 3000 request, hingga 5000 request. Setiap skenario pengujian dijalankan sebanyak lima kali percobaan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya anomali data akibat faktor eksternal seperti fluktuasi jaringan maupun aktivitas sistem operasi. Nilai yang digunakan dalam analisis merupakan nilai rata-rata dari seluruh hasil percobaan yang telah dilakukan.

Parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi performa sistem meliputi waktu respons (response time), throughput, utilisasi CPU, dan indeks pemerataan beban. Waktu respons digunakan untuk mengukur lamanya waktu yang dibutuhkan sistem dalam memberikan respons terhadap suatu permintaan pengguna. Semakin kecil nilai waktu respons, maka semakin baik kualitas layanan yang diberikan oleh sistem.

:

1. Waktu Respons (Response Time)

$$RT = \frac{\sum T}{N}$$

2. Throughput

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Jumlah Request}}{\text{waktu}}$$

3. Utilisasi CPU

$$\text{CPU} = \frac{\text{Waktu Aktif}}{\text{Waktu Total}} \times 100\%$$

4. Indeks Pemerataan Beban

$$\text{LBI} = \frac{\sigma}{\mu}$$

Proses pengujian dilakukan dalam dua kondisi utama. Kondisi pertama merupakan sistem tanpa load balancing dinamis, di mana distribusi beban dilakukan secara statis. Kondisi kedua menggunakan load balancing dinamis berbasis Adaptive Round Robin. Kedua kondisi tersebut diberikan beban kerja yang sama sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara objektif.

Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dianalisis menggunakan metode analisis komparatif. Analisis dilakukan dengan membandingkan setiap parameter performa pada kedua kondisi pengujian. Perbedaan nilai waktu respons, throughput, utilisasi CPU, dan indeks pemerataan beban digunakan sebagai indikator untuk menentukan efektivitas load balancing dinamis dalam meningkatkan kinerja sistem. Hasil analisis selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik guna mempermudah proses interpretasi data serta memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perubahan performa yang terjadi.

PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh penerapan load balancing dinamis terhadap performa sistem terdistribusi. Pengujian dilaksanakan pada dua kondisi, yaitu sistem tanpa load balancing dinamis dan sistem yang menggunakan load balancing dinamis berbasis Adaptive Round Robin. Beban kerja diberikan dalam bentuk request yang dikirimkan secara simultan dengan variasi jumlah request mulai dari 500 hingga 5000 request.

Parameter yang diamati meliputi waktu respons (response time), throughput, utilisasi CPU rata-rata, dan indeks pemerataan beban (Load Balance Index/LBI). Hasil pengujian rata-rata ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian dan Perhitungan Kinerja Sistem

Jumlah Request	Response Time Tanpa LB (ms)	Response Time Dinamis (ms)	Throughput Tanpa LB (req/s)	Throughput LB (req/s)	Utilisasi CPU Tanpa LB (%)	Utilisasi CPU Dinamis (%)	LBI Tanpa LB	LBI Dinamis
500	112	84	410	495	72	65	0.26	0.11
1000	185	121	780	945	81	70	0.31	0.13
2000	310	185	1450	1825	89	76	0.35	0.15
3000	455	240	2100	2780	94	81	0.41	0.17
5000	690	355	3200	4325	98	85	0.48	0.19

Berdasarkan data pada Tabel 1 terlihat bahwa penerapan load balancing dinamis memberikan peningkatan performa yang signifikan pada seluruh parameter yang diamati. Seiring dengan bertambahnya jumlah request, sistem yang menggunakan load balancing dinamis mampu mempertahankan performa yang lebih baik dibandingkan sistem tanpa load balancing.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem tanpa load balancing menunjukkan peningkatan waktu respons yang cukup tinggi seiring bertambahnya jumlah request. Pada beban sebesar 500 request diperoleh waktu respons rata-rata sebesar 112 ms, sedangkan pada 5000 request meningkat menjadi 690 ms. Peningkatan ini terjadi karena beberapa server mengalami penumpukan beban sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk memproses setiap permintaan yang masuk. Nilai speedup pada many-core juga menunjukkan peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan multi-core. Pada pengujian simulasi numerik menggunakan 8 core, many-core menghasilkan speedup sebesar 9,67 sedangkan multi-core hanya mencapai 5,68. Hal tersebut menunjukkan bahwa arsitektur many-core lebih efektif dalam menangani workload dengan tingkat paralelisme tinggi.

Selain itu, efisiensi paralel pada many-core cenderung lebih baik dibandingkan multi-core. Namun, pada beberapa pengujian terlihat bahwa peningkatan Hasil pengujian menunjukkan bahwa throughput meningkat secara signifikan setelah diterapkannya load balancing dinamis. Pada skenario pengujian 500 request, throughput meningkat dari 410 request per detik menjadi 495 request per detik. Peningkatan yang lebih besar terlihat pada skenario 5000 request, yaitu dari 3200 request per detik menjadi 4325 request per detik. Peningkatan throughput ini terjadi karena load balancing dinamis mampu memanfaatkan seluruh sumber daya komputasi yang tersedia secara lebih optimal. Ketika salah satu server mulai mengalami peningkatan beban, algoritma akan mengalihkan request berikutnya ke server

lain yang memiliki kapasitas lebih besar. Mekanisme tersebut memungkinkan seluruh node berkontribusi secara maksimal dalam proses pemrosesan data.

Pada beban sebesar 5000 request, rata-rata utilisasi CPU mencapai 98% pada server yang menerima beban terbesar. Kondisi ini menunjukkan bahwa server berada pada kondisi hampir jenuh sehingga berpotensi menimbulkan penurunan performa dan kegagalan layanan apabila jumlah request terus meningkat. Setelah penerapan load balancing dinamis, utilisasi CPU dapat ditekan menjadi rata-rata 85%. Nilai ini menunjukkan bahwa beban kerja berhasil didistribusikan secara lebih merata ke seluruh node yang tersedia. Distribusi yang lebih seimbang memberikan ruang bagi sistem untuk menangani lonjakan beban tanpa mengalami penurunan performa yang signifikan.

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian dapat diketahui bahwa penerapan load balancing dinamis memberikan dampak positif terhadap peningkatan kinerja sistem terdistribusi. Mekanisme distribusi beban yang mempertimbangkan kondisi aktual setiap server mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dibandingkan pendekatan statis.

Peningkatan performa yang diperoleh terlihat dari menurunnya waktu respons, meningkatnya throughput, menurunnya tingkat utilisasi CPU pada node yang sebelumnya mengalami overload, serta membaiknya nilai Load Balance Index. Hasil tersebut menunjukkan bahwa load balancing dinamis mampu menjaga kestabilan sistem meskipun jumlah request meningkat secara signifikan. Temuan penelitian ini sejalan dengan teori sistem terdistribusi yang menyatakan bahwa distribusi beban yang merata dapat meningkatkan efisiensi pemrosesan dan mengurangi kemungkinan terjadinya bottleneck pada suatu node. Selain itu, hasil penelitian juga mendukung berbagai penelitian terdahulu yang menyebutkan bahwa algoritma load balancing adaptif memiliki performa yang lebih baik dibandingkan algoritma statis dalam lingkungan komputasi yang memiliki karakteristik beban kerja dinamis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai optimalisasi kinerja sistem menggunakan pendekatan load balancing dinamis, dapat disimpulkan bahwa penerapan mekanisme load balancing dinamis mampu meningkatkan performa sistem terdistribusi secara signifikan dibandingkan sistem yang menggunakan distribusi beban statis. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan nilai waktu respons pada seluruh skenario pengujian sehingga sistem dapat memberikan layanan yang lebih cepat kepada pengguna meskipun jumlah permintaan yang diterima terus meningkat.

Penerapan load balancing dinamis juga terbukti mampu meningkatkan nilai throughput sistem. Distribusi beban yang dilakukan secara adaptif memungkinkan setiap server memproses

request secara lebih optimal sehingga jumlah permintaan yang dapat dilayani dalam satu satuan waktu menjadi lebih besar. Peningkatan throughput menunjukkan bahwa kapasitas sistem dalam menangani beban kerja tinggi menjadi lebih baik dan lebih stabil dibandingkan kondisi tanpa load balancing dinamis.

Dari aspek pemanfaatan sumber daya, load balancing dinamis berhasil menciptakan distribusi beban yang lebih merata pada seluruh node server. Hal tersebut ditunjukkan oleh menurunnya nilai Load Balance Index (LBI) serta utilisasi CPU yang lebih seimbang pada setiap server. Pemerataan penggunaan sumber daya mampu mengurangi risiko terjadinya overload pada node tertentu sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan perangkat keras yang tersedia.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa algoritma Adaptive Round Robin yang digunakan mampu menyesuaikan proses distribusi beban berdasarkan kondisi aktual sistem. Kemampuan adaptasi tersebut menjadikan sistem lebih responsif terhadap perubahan beban kerja yang bersifat dinamis dan tidak terprediksi. Dengan demikian, penerapan load balancing dinamis dapat menjadi solusi yang efektif dalam meningkatkan kualitas layanan, stabilitas sistem, serta efisiensi penggunaan sumber daya pada lingkungan komputasi modern.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa load balancing dinamis merupakan salah satu pendekatan yang efektif untuk mengoptimalkan kinerja sistem terdistribusi. Implementasi metode ini sangat relevan untuk diterapkan pada berbagai infrastruktur teknologi informasi seperti cloud computing, web server cluster, data center, maupun sistem layanan berbasis jaringan yang memiliki jumlah pengguna dan beban kerja yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. B. W. d. M. N. K. S. Sibuea, "Penggunaan Software Nginx Sebagai Load Balancing Web Server Clustering," *Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer*, vol. 10, no. 1, pp. 326-341, 2024.
- [2] I. F. d. A. I. F. Apriliansyah, "Implementasi Load Balancing Pada Web Server Menggunakan Nginx," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Informatika*, vol. 6, no. 2, pp. 85-92, 2020.

- [3] A. P. d. R. F. D. Siregar, "Load Balancing untuk Lalu Lintas Tinggi pada Lingkungan Cloud Menggunakan Metode Round Robin," *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, vol. 9, no. 1, pp. 45-54, 2024.
- [4] R. B. d. B. Santoso, "Analisis Kinerja Algoritme WRR dengan WLC pada Load Balancing Nginx," *The Indonesian Journal of Computer Science (IJCS)*, vol. 13, no. 1, pp. 1063-1078, 2024.
- [5] L. S. J. d. Y. D. Ariestiandy, "Evaluasi Load Balancing: Studi Komparatif Least-Connection dan Round-Robin dalam Konteks Cloud Computing," *Jurnal Fasilkom*, vol. 14, no. 2, pp. 177-186, 2024.