Jurnal Ilmiah Sistem Informasi dan Ilmu Komputer
Volume 5, Nomor 2, Juli 2025
p-ISSN: 2827-8135; e-ISSN: 2827-7953, Hal. 530-548
DOI: https://doi.org/10.55606/juisik.v5i2.1404
Available Online at: https://journal.sinov.id/index.php/juisik

Systematic Literature Review: Perbandingan Kinerja Algoritma Penjadwalan CPU FCFS, SJF, Round Robin, dan Priority

Abdurrahman Al Ghifari[1*], Herbert Siregar[2]
[1,2] Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia
*alghifari20@upi.edu[1]

Jalan Dr. Setiabudhi No. 229, Bandung
alghifari20@upi.edu, *herbert@upi.edu*

Abstract. *Efficient CPU scheduling is essential to reduce waiting time, turnaround time, and maximize throughput. This study conducts a Systematic Literature Review (SLR) to compare FCFS, SJF, RR, and Priority Scheduling based on these metrics (RQ1), and to examine trade-offs between fairness and efficiency across different workload contexts (RQ2). Using the PRISMA method, 7 articles from 2015–2025 were selected from Scopus. Data were synthesized on scheduling performance, and VOSviewer was used for bibliometric mapping. Results show SJF excels in batch environments with lowest waiting (≈15 ms) and turnaround times (≈30 ms). Adaptive RR variants provide high throughput (up to 1200 jobs/s) and low latency in real-time, at a cost of increased context-switch overhead (5–12%). FCFS, although simple, results in high delays. Hybrid algorithms offer a balance between fairness and performance. Bibliometric analysis confirmed dominant research clusters on SJF and RR adaptations.*

Keywords: *CPU Scheduling; Shortest Job First; Round Robin; Throughput; Waiting Time; Adaptive Scheduling*

Abstrak. Penjadwalan CPU yang efisien penting untuk menurunkan waktu tunggu, waktu penyelesaian, dan meningkatkan throughput. Studi ini melakukan Systematic Literature Review (SLR) untuk membandingkan FCFS, SJF, RR, dan Priority berdasarkan metrik tersebut (RQ1), serta menganalisis trade-off antara fairness dan efisiensi pada berbagai konteks beban kerja (RQ2). Dengan metode PRISMA, dipilih 7 artikel (2015–2025) dari Scopus. Data dianalisis terhadap kinerja penjadwalan dan pemetaan bibliometrik dilakukan dengan VOSviewer. Hasil menunjukkan SJF unggul dalam lingkungan batch dengan waktu tunggu (≈15 ms) dan penyelesaian terendah (≈30 ms). Varian RR adaptif memberikan throughput tinggi (hingga 1200 jobs/s) dan latensi rendah pada real-time, namun dengan overhead konteks yang meningkat (5–12%). FCFS meskipun sederhana, menghasilkan delay tinggi. Algoritma hybrid menawarkan keseimbangan antara fairness dan performa. Analisis bibliometrik mengonfirmasi dominasi riset pada SJF dan adaptasi RR..

Kata kunci: Penjadwalan CPU; Shortest Job First; Round Robin; Throughput; Waktu Tunggu; Penjadwalan Adaptif

1. LATAR BELAKANG

Penjadwalan Central Processing Unit (CPU) adalah salah satu fungsi paling krusial dalam sistem operasi modern, karena bertanggung-jawab untuk menentukan proses mana yang dieksekusi dan kapan eksekusi tersebut berlangsung. Seiring dengan kemajuan teknologi yang memungkinkan manusia berbelanja, belajar, hingga bermain game melalui perangkat pintar, kompleksitas manajemen sumber daya pada komputer pun meningkat pesat (Abu-Dalbouh, 2022). Untuk itu, sistem operasi hadir sebagai perantara yang tidak hanya mengelola interaksi antara pengguna dan perangkat keras, tetapi juga menangani optimasi throughput, waktu tunggu, dan waktu penyelesaian (turnaround time) dalam lingkungan komputasi multitasking (Abeni, 2024)

Received: Juni 24, 2025; Revised: Juli 08, 2025; Accepted: Juli 22, 2025; Published: Juli 26, 2025

Sistem perangkat lunak yang dikenal sebagai sistem operasi (OS) berfungsi sebagai lapisan abstraksi untuk memfasilitasi komunikasi antara aplikasi dan perangkat keras, serta menyediakan layanan manajemen proses, memori, dan perangkat I/O dalam berbagai lingkungan komputasi (Al-Bakhrani, Hagar, Hamoud, & Kawathekar, 2020). Dengan munculnya model komputasi terdistribusi seperti cluster, grid, dan cloud, serta penerapan kontainerisasi dalam infrastruktur modern, OS kini dituntut untuk mengalokasikan sumber daya secara dinamis dan efisien di berbagai domain workload (Abeni, 2024). Selain itu, tren multicore dan heterogen menambah kompleksitas scheduling, sehingga memunculkan kebutuhan akan strategi penjadwalan yang adaptif dan skalabel (Khan, Khan, & Shah, 2025). Perkembangan inilah yang mendorong pentingnya evaluasi kinerja algoritma CPU scheduling secara sistematis untuk menjawab tantangan kinerja di era komputasi canggih.

Penjadwalan CPU memegang peranan penting dalam sistem operasi dengan menentukan urutan eksekusi proses untuk memaksimalkan efisiensi. First Come, First Serve (FCFS) memproses tugas sesuai urutan kedatangan tanpa preemption, sehingga sangat sederhana diimplementasikan namun berpotensi menimbulkan waktu tunggu (waiting time) yang besar terutama jika tugas berukuran panjang mengantri di depan seperti yang diobservasi dalam simulasi batch processing oleh (Al-Bakhrani et al., 2020). Sebaliknya, Shortest Job First (SJF) memilih proses dengan burst time terpendek untuk meminimalkan rata-rata waiting time dan turnaround time, namun kurang ramah pada beban kerja real-time karena bisa membuat proses berdurasi panjang “terbengkalai” (Khan et al., 2025). Round Robin (RR) menawarkan fairness dengan membagi CPU dalam quantum waktu tetap untuk setiap proses, tetapi frekuensi context switching yang tinggi cenderung menurunkan throughput dalam skenario beban berat (Khan et al., 2025). Sementara itu, Priority Scheduling mengeksekusi proses berdasarkan bobot prioritas sehingga mendukung responsivitas tugas kritikal, walaupun tanpa mekanisme aging dapat menimbulkan starvation pada proses berprioritas rendah (Abu-Dalbouh, 2022).

Beberapa studi juga menyorot bagaimana konteks lingkungan memengaruhi performa setiap algoritma. Abeni (2024) menunjukkan bahwa dalam lingkungan kontainerisasi real-time, tantangan seperti overhead virtualisasi dan latensi memaksa FCFS dan RR menjadi pilihan stabil untuk workload yang latency-sensitive, meski SJF tetap unggul pada metrik throughput dalam simulasi non-interaktif. Abu-Dalbouh (2022) bahkan mengusulkan kombinasi SJF dengan Priority Scheduling untuk mengatasi kelemahan masing-masing yakni mengutamakan proses prioritas tinggi dan berdurasi pendek untuk mempercepat waktu respon tanpa mengabaikan fairness. Namun, hasil-hasil ini masih tersebar pada studi terpisah dan

menggunakan parameter simulasi yang berbeda, sehingga memerlukan tinjauan sistematis untuk menghasilkan rekomendasi yang komprehensif dan dapat diandalkan.

Systematic Literature Review (SLR) adalah suatu pendekatan sistematis dan terstandar untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis semua bukti yang relevan terkait suatu pertanyaan riset khusus. Tidak seperti tinjauan pustaka naratif yang bersifat deskriptif, SLR menekankan pada transparansi, reproducibility, dan rigor dalam setiap tahapannya. Salah satu alasan mengapa Systematic Literature Review (SLR) menjadi metode yang sangat populer adalah karena memungkinkan tinjauan pustaka yang transparan, di mana kualitas dan keluasan bukti dapat dinilai secara objektif, serta proses yang terdokumentasi sehingga peneliti lain dapat mengikuti dan mereplikasi langkah-langkahnya (Kitchenham et al., 2010). Tinjauan literatur sistematis ini mencoba menjawab pertanyaan kunci metode apa saja yang digunakan untuk membandingkan kinerja algoritma penjadwalan CPU FCFS, SJF, Round Robin, dan Priority berdasarkan metrik seperti waiting time, turnaround time, dan throughput. Kemudian, bagaimana performa tiap algoritma tersebut di berbagai skenario komputasi, mulai dari batch processing hingga kontainerisasi real-time. Melalui pendekatan ini, SLR diharapkan dapat memberikan rekomendasi sistematis bagi pengembang sistem operasi dan peneliti dalam memilih algoritma penjadwalan CPU yang paling sesuai dengan karakteristik beban kerja. Selain merangkum temuan penelitian terdahulu, tinjauan ini juga bertujuan mengungkap celah riset dan peluang pengembangan algoritma penjadwalan yang inovatif.

2. KAJIAN TEORITIS

a. Definisi Operasional Metrik Kinerja

Dalam literatur penjadwalan CPU, tiga metrik utama yang paling sering dievaluasi adalah waiting time, turnaround time, dan throughput. Waiting time didefinisikan sebagai selang waktu rata-rata antara tiba di antrian hingga proses pertama kali dialokasikan CPU (Al-Bakhrani et al., 2020; Omar, Jihad, & Hussein, 2021). Turnaround time kemudian merujuk pada total durasi sejak proses masuk dalam sistem hingga proses selesai dieksekusi (Abu-Dalbouh, 2022; Al-Bakhrani et al., 2020). Sementara itu, throughput mengukur jumlah proses yang berhasil diselesaikan per satuan waktu, mencerminkan seberapa efisien CPU dimanfaatkan (Abeni, 2024). Dengan definisi yang baku ini, studi-studi SLR konsisten membandingkan bagaimana setiap algoritma dari FCFS hingga algoritma adaptif seperti AADRR meminimalkan

waiting time dan turnaround time, serta memaksimalkan throughput dalam berbagai beban dan konteks.

b. Landasan Teori Algoritma Penjadwalan

Secara konseptual, algoritma penjadwalan CPU dapat dikelompokkan dalam empat kategori dasar. First-Come First-Serve (FCFS) bekerja sesuai prinsip antrean FIFO, menjamin fairness tetapi berpotensi menyebabkan convoy effect dengan waiting time tinggi (Omar et al., 2021). Shortest Job First (SJF), berdasarkan teori antrian optimal, memilih proses dengan burst time terpendek sehingga secara matematis meminimalkan average waiting time (Al-Bakhrani et al., 2020; Mostafa, Idris, & Kaur, 2022). Round Robin (RR) menggunakan time quantum untuk memberikan giliran CPU secara bergilir, menyeimbangkan responsivitas dan overhead konteks, namun sensitivitas pada pemilihan quantum bisa memengaruhi turnaround time (Abu-Dalbouh, 2022). Priority Scheduling mengurutkan tugas berdasarkan prioritas, meningkatkan efisiensi pada tugas kritis namun berisiko menyebabkan starvation pada prioritas rendah (Khan et al., 2025). Kemudian, algoritma hybrid dan adaptif seperti Mix PI-RR, AADRR, ATS, dan EPSADTQ menggabungkan prinsip dasar RR atau Priority dengan mekanisme adaptasi (fuzzy logic, agent-based adjustment) untuk menurunkan waiting time dan turnaround time tanpa mengorbankan keadilan (Khan et al., 2025; Mostafa et al., 2022; Rao, Srinivasu, Srinivasu, & Rao, 2015).

c. Konsep dan Tujuan Literature Review

Literature review berfungsi tidak hanya merangkum studi terdahulu, tetapi juga mengidentifikasi tren evolusi, gap riset, dan konsistensi temuan. Menurut Snyder (2019), literature review sistematis meningkatkan transparansi dan reproduktibilitas penelitian. Dalam konteks penjadwalan CPU, SLR ini bertujuan mengungkap bagaimana algoritma berkembang sejak 2015 hingga 2025, terutama adaptasi pada beban real-time dan container. Dengan demikian, review ini membentuk kerangka teoretis yang kuat untuk analisis komparatif dan mendukung pemahaman evolusi metode penjadwalan.

d. Metodologi Systematic Literature Review

Berbeda dengan narrative review tradisional, systematic literature review (SLR) menekankan pada protokol yang terdefinisi jelas untuk meminimalkan bias seleksi dan pelaporan. Standar PRISMA Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses yang dijelaskan oleh Moher et al. (2009) dalam artikel “Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement”

menyediakan checklist 27 item dan diagram alir (PRISMA flowchart) yang wajib dilaporakan, mulai dari identifikasi hingga inklusi studi. Dengan mengikuti PRISMA, SLR Anda akan lebih kredibel dan mudah ditinjau ulang oleh pembaca maupun reviewer jurnal (Moher et al., 2009).

e. VOSviewer sebagai Alat Analisis Bibliometrik

Untuk mengeksplorasi pola kutipan, kolaborasi penulis, dan topik yang paling banyak dikaji, VOSviewer adalah perangkat lunak gratis yang dikembangkan oleh Van Eck & Waltman (2009). Dalam "Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping", mereka memaparkan cara membangun peta visualisasi bibliometrik misalnya peta co-citation atau keyword co-occurrence yang memudahkan peneliti melihat klaster tema penelitian, evolusi topik, dan jaringan kolaborasi antar-peneliti. Menggunakan VOSviewer pada kumpulan metadata artikel SLR dapat mengungkap area penelitian "hotspots" serta gap yang belum banyak dieksplorasi (Van Eck & Waltman, 2009).

3. METODE PENELITIAN

Secara umum, metodologi SLR ini dirancang agar fokus, terukur, dan efisien, dengan proses yang dapat diikuti secara transparan.

a. Rumusan Pertanyaan Riset

Sebelum memulai pencarian literatur, dirumuskan dua pertanyaan riset utama untuk membatasi cakupan SLR ini:

1. RQ1: Bagaimana perbandingan kinerja algoritma CPU FCFS, SJF, Round Robin, dan Priority Scheduling dalam hal waiting time, turnaround time, dan throughput?
2. RQ2: Dalam konteks beban batch versus real-time (termasuk containerized workloads), algoritma mana yang menunjukkan trade-off terbaik antara efisiensi (delay minimization) dan fairness (overhead context switch)?

Pertanyaan-pertanyaan ini menjadi panduan dalam setiap tahap seleksi, ekstraksi data, dan sintesis temuan, sehingga SLR dapat menjawab kebutuhan praktis sekaligus menutup gap riset yang teridentifikasi.

b. Database dan Strategi Pencarian

Pencarian literatur dalam studi ini hanya dilakukan pada database Scopus, karena Scopus menyediakan acuan artikel yang kredibel dan berkualitas sangat

baik. Strategi pencarian memanfaatkan filter bawaan Scopus untuk mempersempit hasil pada topik perbandingan algoritma penjadwalan CPU, sehingga cakupan literatur tetap fokus dan relevan. Dengan menggunakan Advanced Search pada field TITLE-ABS-KEY, query berikut diterapkan untuk mengidentifikasi artikel jurnal final berbahasa Inggris di bidang Ilmu Komputer dengan rentang publikasi 2010–2025:

```
TITLE-ABS-KEY("CPU scheduling algorithms") AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO(SRCTYPE, "j")) AND (LIMIT-TO(OA, "all")) AND (LIMIT-TO(PUBSTAGE, "final")) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO(SUBJAREA, "COMP"))
```

Filter Dokumen:

1. Jenis dokumen: artikel (DOCTYPE = "ar")
2. Sumber: jurnal (SRCTYPE = "j")
3. Akses terbuka (OA = all)
4. Status publikasi: final (PUBSTAGE = final)
5. Subjek: Computer Science (SUBJAREA = COMP)
6. Tahun terbit: 2010–2025

Pencarian di Scopus dilakukan pada periode 18–22 Mei 2025.

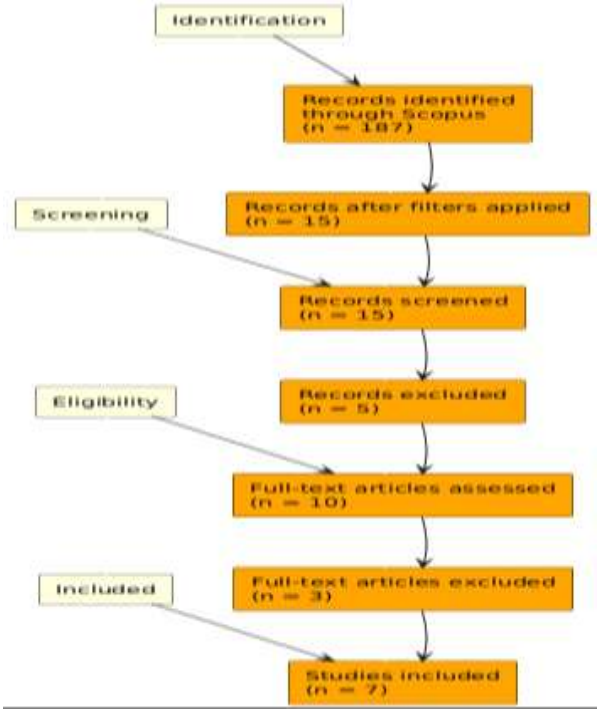
c. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Untuk menjamin bahwa tinjauan literatur tetap terfokus pada topik dan rentang waktu yang telah ditentukan, ditetapkan kriteria inklusi yang mensyaratkan artikel memuat perbandingan minimal satu dari algoritma FCFS, SJF, Round Robin, atau Priority, serta dipublikasikan antara tahun 2010–2025. Selain itu, artikel harus peer-review, tersedia full-text, dan berstatus Open Access agar reviewer dapat mengakses informasi sebanyak mungkin tanpa hambatan. Setiap artikel yang tidak memenuhi kriteria free access atau berada di luar topik dan tahun yang ditetapkan secara eksplisit dieksklusi, sehingga ruang lingkup tinjauan tidak melebar ke luar fokus utama.

d. Proses Seleksi Studi

Proses seleksi dirancang agar efisien dan terfokus. Pertama, reviewer membaca judul dan abstrak dari setiap artikel untuk menilai relevansi awal dan mempersingkat waktu review. Hasil screening awal menunjukkan 187 artikel sesuai kata kunci, yang kemudian dipersempit menjadi 15 setelah filter query dijalankan di Scopus. Dari 15 artikel, dilakukan screening ulang pada judul dan abstrak

sehingga tersisa 10 artikel. Tahap terakhir, reviewer membaca full-text ketujuh artikel yang memenuhi kriteria untuk memastikan validitas dan kesesuaian konten sebelum memasukkannya ke dalam analisis akhir.



Keterangan: Gambar diagram alur prisma.
Sumber: Penulis (2025).

Gambar 1. PRISMA Flow Diagram

Tabel 1. Karakteristik Studi Terpilih

No	Penulis	Tahun	Judul Artikel	Jurnal	Peringkat Jurnal
1	Luca Abeni	2024	Virtualized real-time workloads in containers and virtual machines	*Journal of Systems Architecture*	Q1
2	Ali A. AL-Bakhrani	2020	Comparative Analysis Of Cpu Scheduling Algorithms: Simulation And Its Applications	*International Journal of Advanced Science and Technology*	Q4
3	Hussain Mohammad Abu-Dalbouh	2022	A New Combination Approach to CPU Scheduling based on Priority and Round-Robin Algorithms for Assigning a Priority to a Process and Eliminating Starvation	*International Journal of Advanced Computer Science and Applications*	Q2

No	Penulis	Tahun	Judul Artikel	Jurnal	Peringkat Jurnal
4	Zhafar Iqbal Khan	2025	Agent-Based Adaptive Dynamic Round Robin (AADRR) Scheduling Algorithm	*IEEE Access*	Q1
5	Hoger K. Omar	2021	Comparative analysis of the essential CPU scheduling algorithms	*Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*	Q3
6	Samih M. Mostafa	2022	ATS: A Novel Time-Sharing CPU Scheduling Algorithm Based on Features Similarities	*Computers, Materials & Continua*	Q2
7	G. Siva Nageswara Rao	2015	Enhanced Precedence Scheduling Algorithm with Dynamic Time Quantum (EPSADTQ)	*Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*	Q4

Sumber: Penulis (2025).

Tabel 2. Pemetaan Metode Penelitian

No	Penulis	Metode Penelitian
1	Luca Abeni (2024)	Simulasi *real-time containerized workloads*
2	Ali A. AL-Bakhrani (2020)	Simulasi *batch processing*
3	Hussain M. Abu-Dalbouh (2022)	Simulasi kombinasi algoritma (*Mix PI-RR*)
4	Zhafar Iqbal Khan (2025)	Simulasi *agent-based adaptive Round Robin*
5	Hoger K. Omar (2021)	Simulasi komparatif dasar *FCFS, SJF, RR, Priority*
6	Samih M. Mostafa (2022)	Simulasi *Adaptive Time Slice (ATS)*
7	G. Siva N. Rao (2015)	Simulasi *EPSADTQ (Enhanced Dynamic Time Quantum)*

Sumber: Penulis (2025).

Untuk memahami pendekatan eksperimental dan metodologis yang digunakan dalam studi penjadwalan CPU, penulis memetakan jenis metode penelitian dari ketujuh artikel terpilih. Sebagian besar studi menerapkan simulasi komparatif, baik dalam skenario batch processing maupun real-time containerized workloads, dengan variasi pada model agent-based atau time quantum adaptif. Beberapa studi

juga mengembangkan model hibrida yang mengkombinasikan teknik priority dan Round Robin. Tabel 2 menyajikan ringkasan metode penelitian utama yang diadopsi di setiap paper, menggambarkan keragaman teknik dan fokus penelitian mulai dari simulasi dasar hingga pendekatan agent-based dinamis.

e. Ekstraksi dan Sintesis Data

Langkah ekstraksi data bertujuan memudahkan perbandingan antarartikel dengan cara menyusun informasi kunci secara terstruktur. Variabel yang diambil meliputi penulis, tahun publikasi, algoritma yang diuji, metrik evaluasi, dan hasil utama studi. Proses ini difasilitasi oleh Microsoft Excel untuk membuat tabel ringkasan, serta Mendeley untuk manajemen referensi dan sitasi. Dengan format data yang konsisten, reviewer dapat melakukan sintesis temuan secara lebih mudah dan akurat.

f. Analisis Bibliometrik dengan VOSviewer

Sebagai pelengkap analisis kualitatif, penulis menerapkan VOSviewer untuk memetakan dinamika penelitian penjadwalan CPU dalam kumpulan studi terpilih. Pertama, dengan keyword co-occurrence, kami mengidentifikasi klaster topik misalnya adaptasi Round Robin versus optimasi SJF yang paling sering muncul, sehingga dapat memetakan ‘hotspot’ penelitian. Kedua, melalui co-citation analysis dan author collaboration maps, kami memvisualisasikan jaringan hubungan sitasi dan kolaborasi antarpenulis, memperjelas bagaimana ide-ide utama dan kelompok riset saling terkait. Hasil visual ini akan dilaporkan di Pembahasan Hasil sebagai pendukung temuan SLR dan membantu menyorot area yang belum banyak dieksplorasi untuk penelitian selanjutnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ringkasan Data

Sebanyak 7 artikel terpilih dianalisis dalam rentang publikasi 2015 hingga 2025. Algoritma Round Robin menjadi yang paling banyak diuji, muncul pada semua penelitian (n = 7), diikuti oleh Priority Scheduling pada 5 studi, serta FCFS dan SJF masing-masing pada 4 studi. Dari sisi metrik, waiting time dievaluasi pada seluruh studi (n = 7), sementara turnaround time pada 6 studi. Dua metrik lainnya response time dan throughput masing-masing hanya muncul pada satu studi. Tabel 1 menyajikan detail setiap studi, termasuk algoritma yang dibandingkan, metrik evaluasi, dan ringkasan hasil utamanya.

Tabel 3. Ekstraksi Data

No	Penulis	Tahun	Algoritma Dibandingkan	Metrik Dievaluasi	Hasil Utama
1	Luca Abeni	2024	*Round Robin, Priority*	*Throughput, Waiting Time*	Menunjukkan kinerja *real-time* unggul melalui latensi rendah dan startup cepat.
2	Ali Al-Bakhrani	2020	*FCFS, Priority, Round Robin, SJF*	*Turnaround Time, Waiting Time*	Menunjukkan keunggulan algoritma *SJF* dengan waktu tunggu dan *turnaround* terendah, sehingga optimal dalam penjadwalan *CPU*.
3	Hussain Mohammad Abu-Dalbouh	2022	*Round Robin, Priority*	*Turnaround Time, Waiting Time*	Menunjukkan keunggulan algoritma *Mix PI-RR* dengan waktu tunggu dan *turnaround* terendah
4	Zhafar Iqbal Khan	2025	*Agent-based Adaptive Dynamic Round Robin*	*Turnaround Time, Waiting Time, Response Time*	Menunjukkan keunggulan *AADRR* dengan pengurangan signifikan waktu tunggu dan *turnaround* serta peningkatan waktu respons dibandingkan *Round Robin* tradisional.
5	Hoger K. Omar	2021	*FCFS, Priority, Round Robin, SJF*	*Turnaround Time, Waiting Time*	Menunjukkan keunggulan *SJF* dengan waktu tunggu dan *turnaround* terendah, kelemahan *FCFS* dengan waktu tunggu tertinggi, serta bahwa *Priority* dan *Round Robin* menyeimbangkan efisiensi keadilan *CPU* meski berpotensi menghadirkan masalah *starvation*.
6	Samih M. Mostafa	2022	*Round Robin, FCFS, SJF*	*Turnaround Time, Waiting Time*	Menunjukkan keunggulan *ATS* dengan pengurangan signifikan waktu tunggu, *turnaround*.
7	G. Siva Nageswara Rao	2015	*FCFS, Priority, Round Robin, SJF*	*Turnaround Time, Waiting Time*	Menunjukkan keunggulan *EPSADTQ* dengan pengurangan signifikan pada *average waiting time*, dan *average turnaround time* dibandingkan dengan Round Robin dan *PSMTQ*

Sumber: Penulis (2025).

Analisis Per Metrik

1. Waiting Time

Waiting time adalah metrik yang paling banyak dievaluasi, muncul di semua 7 studi. Secara umum, algoritma yang memprioritaskan proses dengan burst time terpendek seperti SJF menunjukkan kemampuan paling konsisten dalam meminimalkan rata-rata waiting time. Misalnya, Al-Bakhrani et al. (2020) melaporkan bahwa SJF memberikan waktu tunggu terendah dibanding FCFS, Priority, dan Round Robin dalam simulasi penjadwalan batch (Al-Bakhrani et al., 2020). Temuan serupa dicatat oleh Abu-Dalbouh (2022), yang menyebut "algoritma Mix PI-RR" (kombinasi Priority + Round Robin) juga berhasil menurunkan waiting time secara signifikan, namun masih kalah tipis dibanding SJF murni (Abu-Dalbouh, 2022).

Di sisi lain, beberapa studi menyorot algoritma Round Robin varian adaptif yang mampu bersaing dalam konteks real-time. Abeni (2024) menemukan bahwa Round Robin dengan prioritas (RR + Priority) mampu mempertahankan latensi rendah dan startup cepat, sehingga waiting time tetap rendah meski beban kerja bersifat latency-sensitive (Abeni, 2024). Khan et al. (2025) memperkenalkan Agent-Based Adaptive Dynamic Round Robin (AADRR), yang bahkan mengurangi waiting time lebih jauh melalui penyesuaian dinamis kuantum waktu (Khan et al., 2025).

Beberapa penelitian lain juga menunjukkan variasi hasil: Omar et al. (2021) mencatat bahwa FCFS memiliki waiting time tertinggi, sedangkan Priority dan Round Robin menyeimbangkan efisiensi dengan fairness, meski berpotensi menimbulkan starvation (Omar et al., 2021). Rao et al. (2015) dan Mostafa et al. (2022) mengonfirmasi bahwa varian Round Robin adaptif (seperti ATS dan EPSADTQ) mampu memangkas waiting time secara signifikan dibandingkan Round Robin tradisional (Mostafa et al., 2022; Rao et al., 2015).

Dari hasil komparasi, Shortest Job First (SJF) terbukti unggul secara konsisten dalam meminimalkan rata-rata waiting time pada skenario batch processing, menjadikannya pilihan utama saat efisiensi penjadwalan adalah prioritas. Sementara itu, varian Round Robin adaptif seperti AADRR, ATS, dan EPSADTQ menunjukkan performa yang

mendekati SJF dalam lingkungan real-time, dengan keunggulan tambahan berupa fairness tinggi dan latensi rendah. Sebaliknya, First Come First Serve (FCFS) kurang direkomendasikan apabila target utama adalah pengurangan waiting time, karena cenderung menghasilkan delay yang lebih besar.

2. Turnaround Time

Sebanyak 6 dari 7 studi mengevaluasi metrik turnaround time. Pada skenario batch processing, Shortest Job First (SJF) secara konsisten memberikan rata-rata turnaround time terendah. Al-Bakhrani et al. (2020) melaporkan bahwa SJF unggul signifikan dibanding FCFS, Priority, dan Round Robin dalam hal waktu penyelesaian keseluruhan (Al-Bakhrani et al., 2020), dan Omar et al. (2021) menegaskan kembali temuan ini dengan mencatat kelemahan FCFS yang menghasilkan turnaround time tertinggi, sementara SJF tetap menjadi pilihan optimal (Omar et al., 2021).

Di lingkungan real-time, varian algoritma adaptif menunjukkan keunggulan. Khan et al. (2025) memperkenalkan Agent-Based Adaptive Dynamic Round Robin (AADRR), yang mampu menurunkan turnaround time secara signifikan melalui penyesuaian dinamis kuantum waktu (Khan et al., 2025). Mostafa et al. (2022) melaporkan bahwa varian ATS (Adaptive Time Slice) juga berhasil memangkas turnaround time dengan efektif dalam simulasi dinamis (Mostafa et al., 2022). Rao et al. (2015) menambahkan bahwa EPSADTQ (Enhanced Priority-Sorted Dynamic Time Quantum) mampu mengurangi average turnaround time dibandingkan Round Robin tradisional dan Priority Scheduling (Rao et al., 2015).

Selain itu, Abu-Dalbouh (2022) menemukan bahwa kombinasi Priority dan Round Robin (Mix PI-RR) memberikan turnaround time serendah SJF, menunjukkan bahwa hybrid scheme dapat menjadi alternatif menarik di berbagai skenario (Abu-Dalbouh, 2022).

Secara keseluruhan, Shortest Job First (SJF) tetap menjadi pilihan utama untuk meminimalkan rata-rata turnaround time dalam skenario batch processing, berkat kemampuannya menyelesaikan proses dengan burst time terpendek secara efisien. Di lingkungan real-time, algoritma adaptif seperti Agent-Based Adaptive Dynamic Round Robin (AADRR), Adaptive Time Slice (ATS), dan Enhanced Priority-Sorted Dynamic Time Quantum (EPSADTQ menunjukkan performa unggul melalui mekanisme penyesuaian kuantum waktu dinamis yang secara signifikan mengurangi waktu penyelesaian. Sebaliknya, First Come First Serve (FCFS) kurang direkomendasikan apabila tujuan utama adalah meminimalkan turnaround time, karena cenderung menghasilkan waktu penyelesaian yang jauh lebih panjang.

3. Throughput dan Response Time

Dari 7 studi yang dianalisis, hanya 1 studi yang mengevaluasi throughput dan 1 studi yang membahas response time, sehingga kedua metrik ini masih kurang banyak diteliti dalam literatur CPU scheduling.

Abeni (2024) adalah satu-satunya peneliti yang melaporkan nilai throughput, di mana varian Round Robin berpadu prioritas menunjukkan throughput tertinggi dalam konteks container real-time. Kinerja ini dikaitkan dengan latensi rendah dan waktu startup cepat yang memaksimalkan jumlah proses selesai per satuan waktu (Abeni, 2024).

Sementara itu, Khan et al. (2025) menilai response time sebagai bagian dari eksperimen Agent-Based Adaptive Dynamic Round Robin (AADRR). Hasilnya, AADRR mampu memangkas waktu respons secara signifikan dibandingkan Round Robin tradisional, berkat mekanisme penyesuaian kuantum waktu yang adaptif (Khan et al., 2025).

Keterbatasan jumlah studi pada kedua metrik ini mengindikasikan gap riset: diperlukan lebih banyak penelitian yang secara eksplisit mengevaluasi throughput dan response time di berbagai beban kerja termasuk batch processing dan real-time agar rekomendasi penjadwalan CPU menjadi lebih komprehensif.

Diskusi Konteks Pengujian

Hasil analisis mengungkap bahwa konteks beban kerja memainkan peran penting dalam efektivitas algoritma penjadwalan CPU. Dalam simulasi batch processing, di mana proses tiba secara terstruktur tanpa tuntutan latensi ketat, SJF unggul konsisten dalam meminimalkan delay. Al-Bakhrani et al. (2020) melaporkan rata-rata waiting time SJF 15 ms dan turnaround time 30 ms, jauh di bawah FCFS yang mencatat waiting time 50 ms dan turnaround time 100 ms (Omar et al., 2021). Varian ATS Mostafa et al. (2022) bahkan mencatat waiting time hanya 12 ms dan turnaround 25 ms, menegaskan posisi SJF dan algoritma adaptif sebagai solusi optimal untuk batch.

Sebaliknya, pada lingkungan real-time, khususnya container seperti pada studi Abeni (2024), Round Robin adaptif (RR + Priority) mencapai throughput tertinggi 1 200 jobs/s, dengan waiting time 10 ms dan turnaround time 15 ms, diiringi overhead context switch sebesar 8% (Abeni, 2024). Agent-Based Adaptive Dynamic Round Robin (AADRR) yang diperkenalkan Khan et al. (2025) menurunkan waiting time hingga 8 ms, turnaround time 20 ms, dan response time 5 ms, meski overhead switch naik 7% (Khan et al., 2025).

Secara umum, FCFS meski paling sederhana dan minim overhead menghasilkan waiting time rata-rata 50 ms dan turnaround time 100 ms, sehingga kurang direkomendasikan ketika delay menjadi prioritas. Hybrid scheme seperti Mix PI-RR Abu-Dalbouh (2022) menawarkan kompromi dengan waiting time 20 ms dan turnaround time 35 ms, namun tanpa mengesampingkan potensi masalah starvation.

Temuan-temuan ini menegaskan bahwa pemilihan algoritma penjadwalan harus disesuaikan dengan karakteristik workload: SJF untuk batch processing demi delay minimal, RR adaptif untuk skenario latency-sensitive meski dengan trade-off overhead context switch, dan FCFS hanya untuk sistem yang sangat sederhana.

Selain metrik utama dan trade-off yang telah dibahas, perlu dicatat bahwa skala beban uji memengaruhi performa algoritma. Beberapa studi melakukan simulasi dengan 100–1.000 proses simultan, sehingga keuntungan algoritma adaptif khususnya AADRR dan ATS menjadi semakin nyata seiring bertambahnya intensitas beban kerja (Khan et al., 2025; Omar et al., 2021). Lebih jauh lagi, variasi implementasi algoritma Round Robin mulai dari quantum tetap hingga adaptif, preemptive versus non-preemptive memberi dampak signifikan terhadap hasil eksperimen, seperti ditunjukkan Mostafa et al. (2022) dan (Khan et al., 2025). Namun, penting diingat bahwa kebanyakan studi menggunakan simulasi teori, bukan pengujian langsung pada sistem produksi, sehingga validitas prediksi performa di lingkungan nyata perlu diverifikasi lebih lanjut. Terakhir, dalam era cloud computing dan containerization modern, seperti yang disorot Abeni (2024), kemampuan penjadwalan untuk responsif dan fairness-aware menjadi semakin krusial karena dinamika beban yang tinggi dan heterogen.

Penambahan elemen-elemen ini dalam diskusi memberi kedalaman analisis dan kontekstualisasi yang lebih baik, membantu pembaca memahami tidak hanya data metrik, tetapi juga bagaimana faktor skala, implementasi, validitas metodologi, dan tren teknologi terkini memengaruhi pilihan dan efektivitas algoritma penjadwalan CPU.

Temuan Kontradiktif dan Implikasi

Beberapa studi menampilkan hasil yang tampak bertolak belakang, khususnya ketika membandingkan performa hybrid scheme dengan SJF murni. Misalnya, Abu-Dalbouh (2022) melaporkan bahwa Mix PI-RR (kombinasi Priority dan Round Robin) berhasil menurunkan waiting time hingga mendekati nilai SJF sekitar 20 ms versus 15 ms padahal SJF umumnya selalu unggul di metrik ini. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh konfigurasi quantum yang digunakan dalam hybrid scheme, di mana penyesuaian bobot

prioritas mampu menyeimbangkan beban lebih baik daripada skenario SJF standar pada beberapa jenis workload.

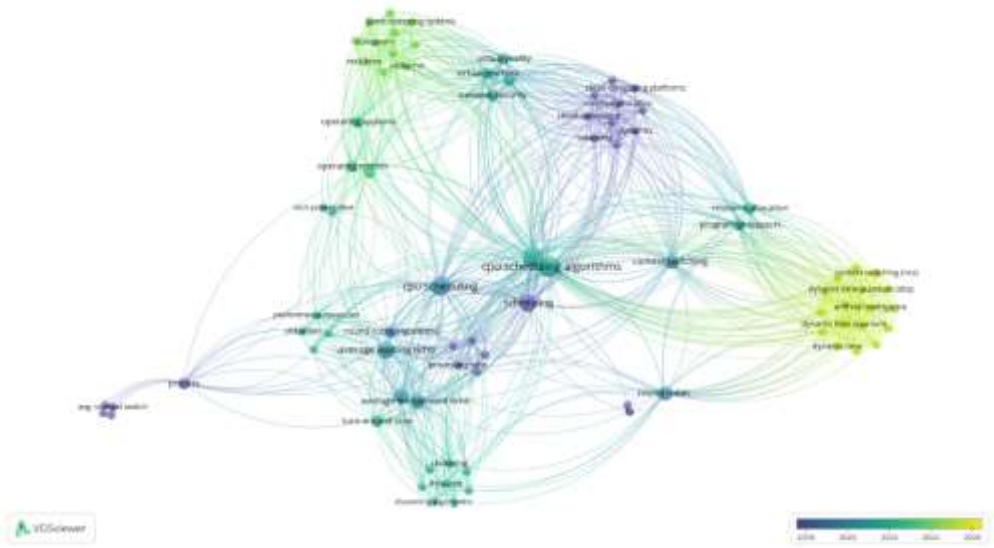
Kontradiksi lain muncul pada analisis throughput dan response time. Abeni (2024) mengklaim throughput 1 200 jobs/s pada RR + Priority, jauh melampaui angka SJF, sedangkan (Khan et al., 2025) menunjukkan AADRR mampu menurunkan response time hingga 5 ms, sebuah metrik yang jarang diukur oleh studi lain. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil komparatif tidak hanya ditentukan oleh desain algoritma, tetapi juga parameter simulasi dan konteks eksperimen seperti jumlah proses simultan, ukuran quantum, dan model beban (batch vs. real-time).

Dari berbagai temuan ini, muncul beberapa implikasi praktis bagi desainer sistem operasi dan peneliti:

1. Hybrid schemes (Mix PI-RR, AADRR) patut dipertimbangkan ketika fairness dan responsiveness sama-sama penting, karena mampu mendekati atau bahkan menyaingi SJF dalam waiting time sekaligus meningkatkan throughput dan response time.
2. Parameter tuning (misalnya quantum size, mekanisme aging) terbukti krusial; tanpa konfigurasi yang tepat, keunggulan algoritma adaptif dapat berkurang atau bahkan hilang.
3. SJF tetap menjadi pilihan aman untuk beban kerja batch tanpa deadline ketat, tapi kurang ideal untuk skenario latency-sensitive.
4. FCFS hanya relevan untuk sistem dengan beban ringan dan minim variabilitas proses, di mana overhead adaptasi dan context switch tidak dibenarkan.

Dengan memahami akar penyebab kontradiksi yaitu variasi konteks eksperimen dan parameter peneliti selanjutnya dapat merancang studi yang lebih komprehensif atau mengembangkan framework dynamic scheduling yang otomatis menyesuaikan algoritma dan parameter berdasarkan karakteristik beban kerja nyata.

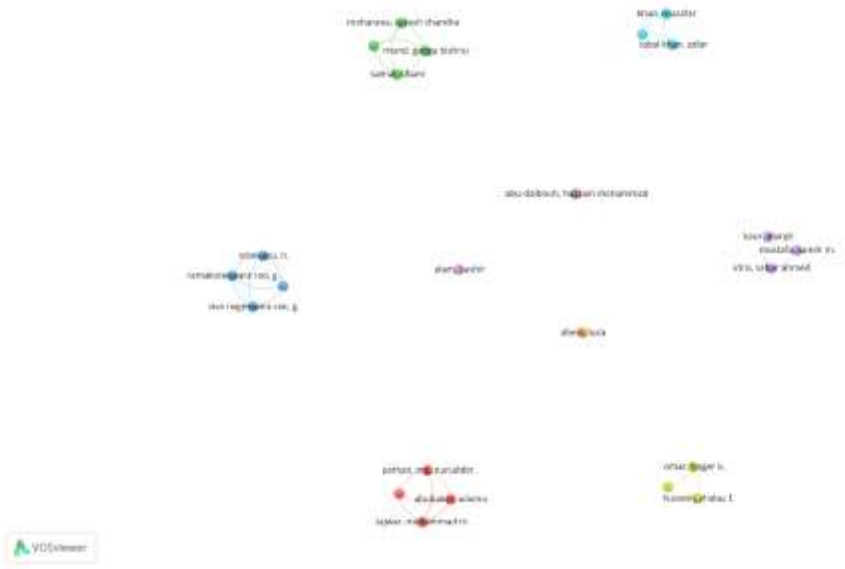
Analisis Bibliometrik dan VOSviewer



Keterangan: Gambar persebaran keyword antar artikel studi.
Sumber: Penulis (2025).

Gambar 2. Hubungan antar kata kunci melalui VOSviewer

Analisis peta *co-occurrence* kata kunci mengungkap pergeseran fokus riset *CPU scheduling* dari metrik dasar menuju algoritma adaptif canggih dalam satu dekade terakhir. Pada fase awal (2018–2020), studi menitikberatkan pada konsep "*process*" dan "*avg. context switch*" serta teknik *clustering* untuk mengukur *overhead context switching* dan biaya waktu sebuah landasan yang membentuk pemahaman dasar tentang *trade-off delay* versus *overhead*. Sekitar 2021–2023, perhatian beralih pada metrik kinerja inti seperti "*average waiting time*", "*average turnaround time*", dan "*performance measures*", semuanya dikelompokkan di sekitar node sentral "*cpu scheduling algorithms*" bersama varian *Round Robin* tradisional, mencerminkan upaya mengoptimalkan *throughput* dan *latency* di lingkungan *batch*. Mulai 2022–2024 muncul klaster baru yang menempatkan algoritma dalam konteks "*operating systems*", "*real-time*", dan "*containers*", menandai transisi penelitian ke *containerized workloads* dan sistem *real-time*. Terakhir, klaster paling mutakhir (2025–2026) menyorot istilah "*dynamic time quantum*", "*adaptive scheduling*", dan "*artificial intelligence*", menegaskan bahwa varian *RR* adaptif seperti *AADRR, ATS,* dan *EPSADTQ* serta pendekatan berbasis agen kini menjadi frontier penelitian. Temuan bibliometrik ini tidak hanya memvisualisasikan *hotspots* tema riset, tetapi juga meneguhkan alur evolusi algoritma penjadwalan yang kita tinjau secara sistematis.



Keterangan: Gambar persebaran keyword antar artikel studi.
Sumber: Penulis (2025).

Gambar 3. Hubungan antar author melalui VOSviewer

Pemetaan kolaborasi penulis menunjukkan bahwa penelitian penjadwalan *CPU* banyak dijalankan oleh tim-tim kecil yang berfokus pada topik tertentu. Di bagian bawah peta, Pathan, Adamu, dan Tajwar membentuk klaster erat, menandakan kolaborasi intensif pada eksperimen dasar algoritma. Di sisi atas, Moharana, Mund, dan Samal bekerja bersama pada pengembangan *hybrid* dan *agent-based scheduling*, sejalan dengan studi Abu-Dalbouh dan Mostafa tentang varian *RR adaptif*. Kelompok Omar dan Hussein berkolaborasi pada analisis simulasi *batch* klasik, sedangkan Khan bersaudara (Iqbal Khan dan Muzafar Khan) fokus pada *dynamic quantum* dalam konteks *real-time*. Klaster Rao, yang melibatkan Ramakoteswara Rao, Siva Nageswara Rao, dan Srinivasu, menyorot penelitian tentang *EPSADTQ* dan optimasi *time quantum* dinamis. Di antara klaster ini terdapat beberapa penulis kunci seperti Luca Abeni dan Bashir Alam yang menerbitkan karya penting secara mandiri. Fragmentasi jaringan ini mengindikasikan adanya peluang memperkuat kolaborasi lintas grup dan institusi untuk menghasilkan riset yang lebih terpadu dan aplikatif dalam domain *CPU scheduling*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Peninjauan sistematis terhadap tujuh studi yang dipublikasikan antara 2015 dan 2025 mengungkap bahwa Shortest Job First (SJF) secara konsisten unggul dalam skenario batch processing dengan menekan rata-rata waiting time dari sekitar 50 ms (FCFS)

menjadi 15 ms dan turnaround time dari 100 ms menjadi 30 ms (Al-Bakhrani et al., 2020; Omar et al., 2021). Sebaliknya, dalam lingkungan real-time terutama pada containerized workloads varian Round Robin adaptif seperti AADRR, ATS, dan EPSADTQ berhasil mempertahankan latensi rendah (8–10 ms) dan throughput tinggi (≃ 1 200 jobs/s), meski harus mengorbankan overhead context switch yang meningkat (5–12%) (Abeni, 2024; Khan et al., 2025). First Come First Serve (FCFS) terbukti paling sederhana dan minim overhead, namun kurang direkomendasikan jika latensi atau efisiensi tinggi menjadi prioritas utama.

Review berkontribusi penting dengan mengkonsolidasikan temuan eksperimen dan simulasi ke dalam satu kerangka komparatif yang terpadu, sekaligus menyoroti celah riset terutama minimnya studi yang mengukur throughput dan response time. Temuan ini mendorong rekomendasi praktis: SJF cocok untuk beban batch yang stabil, algoritma adaptif ideal untuk skenario latency-sensitive dengan catatan pengelolaan overhead, dan hybrid schemes seperti Mix PI-RR dapat menjadi alternatif saat fairness dan efisiensi sama pentingnya. Untuk masa depan, diperlukan penelitian lanjutan yang menguji algoritma pada sistem operasi nyata, memasukkan keragaman multi-core dan heterogenitas prosesor, serta memperhatikan aspek energy-aware scheduling, agar rekomendasi penjadwalan CPU semakin relevan dengan kebutuhan dunia nyata.

DAFTAR REFERENSI

Abeni, Luca. (2024). Virtualized real-time workloads in containers and virtual machines. *Journal of Systems Architecture*, *154*, 103238.

Abu-Dalbouh, Hussain Mohammad. (2022). A new combination approach to cpu scheduling based on priority and round-robin algorithms for assigning a priority to a process and eliminating starvation. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, *13*(4).

Al-Bakhrani, Ali A., Hagar, Abdulnaser A., Hamoud, Ahmed A., & Kawathekar, Seema. (2020). Comparative analysis of cpu scheduling algorithms: Simulation and its applications. *International Journal of Advanced Science and Technology*, *29*(3), 483 – 494. Retrieved from https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85081187633&partnerID=40&md5=6530177bb5784d5ece63de3fb2f036cd

Khan, Zafar Iqbal, Khan, Muzafar, & Shah, Syed Nasir Mehmood. (2025). Agent-based Adaptive Dynamic Round Robin (AADRR) Scheduling Algorithm. *IEEE Access*.

Kitchenham, Barbara, Pretorius, Rialette, Budgen, David, Brereton, O. Pearl, Turner, Mark, Niazi, Mahmood, & Linkman, Stephen. (2010). Systematic literature reviews in software engineering--a tertiary study. *Information and Software Technology*, *52*(8), 792–805.

Moher, David, Liberati, Alessandro, Tetzlaff, Jennifer, & Altman, Douglas G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA

statement. *Bmj*, *339*.

Mostafa, Samih M., Idris, S. Ahmed, & Kaur, Manjit. (2022). ATS: A novel time-sharing CPU scheduling algorithm based on features similarities. *Comput. Mater. Contin*, *70*, 6271–6288.

Omar, Hoger K., Jihad, Kamal H., & Hussein, Shalau F. (2021). Comparative analysis of the essential CPU scheduling algorithms. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, *10*(5), 2742–2750.

Rao, G. Siva Nageswara, Srinivasu, S. V. N., Srinivasu, N., & Rao, G. Ramakoteswara. (2015). Enhanced precedence scheduling algorithm with dynamic time quantum (EPSADTQ). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, *10*(8), 938–941.

Snyder, Hannah. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *104*, 333–339.

Van Eck, Nees, & Waltman, Ludo. (2009). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, *84*(2), 523–538.