

Analisis Beban Kerja dan Daya Baterai pada Laptop Gaming dalam *Green Computing* *Analysis of Workload and Battery Power in Gaming Laptops in Green Computing*

Anggi Yuliani¹⁾, Farid Dani Alfaruq²⁾

¹⁾Informatika, Fakultas Ilmu Komputer & Rekayasa, Universitas Multi Data Palembang

²⁾Informatika, Fakultas Ilmu Komputer & Rekayasa, Universitas Multi Data Palembang

Jalan Rajawali No.14, 9 Ilir, Kec. Ilir Timur II, Kota Palembang, Sumatera Selatan

E-mail : anggiyuliani_2428250081@mhs.mdp.ac.id¹⁾,

fariddanialfaruq_2428250054@mhs.mdp.ac.id²⁾

Abstract

The rapid advances in computing technology have led to increased energy consumption across various computing devices, including laptops, which impacts energy efficiency from a green computing perspective. As high-performance devices, gaming laptops have greater power requirements than standard computing devices, necessitating more optimal management of resource usage. This study aims to analyse the influence of varying workloads on CPU usage and battery power consumption in gaming laptops. The method employed is a quantitative experiment using a case study approach on a single gaming laptop operated in balanced mode. Testing was conducted across three workload scenarios: idle, moderate, and heavy, with each scenario repeated three times to ensure data consistency. The parameters observed included the percentage of CPU usage and battery power depletion over a 30-minute duration in each scenario. The data was analysed using mean and standard deviation calculations to identify patterns and assess the stability of the test results. The research findings indicate that an increase in CPU workload is directly proportional to an increase in the device's energy consumption. Consequently, appropriate workload management is a key factor in supporting energy efficiency and the implementation of green computing principles.

Keywords: green computing, workload, CPU usage, battery consumption, gaming laptop

Abstrak

Perkembangan teknologi komputasi yang pesat menyebabkan peningkatan konsumsi energi pada berbagai perangkat komputer, termasuk laptop, yang berdampak pada efisiensi penggunaan energi dalam perspektif *green computing*. Laptop gaming sebagai perangkat dengan performa tinggi memiliki kebutuhan daya yang lebih besar dibandingkan perangkat komputasi biasa, sehingga diperlukan pengelolaan penggunaan sumber daya yang lebih optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi beban kerja terhadap penggunaan CPU dan konsumsi daya baterai pada laptop gaming. Metode yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif dengan pendekatan studi kasus pada satu unit laptop gaming yang dioperasikan dalam *mode balanced*. Pengujian dilakukan melalui tiga skenario beban kerja, yaitu kondisi *idle*, beban sedang, dan beban berat, dengan masing-masing skenario diulang sebanyak tiga kali untuk memastikan konsistensi data. Parameter yang diamati meliputi persentase penggunaan CPU dan penurunan daya baterai selama durasi 30 menit pada setiap skenario. Data dianalisis menggunakan perhitungan rata-rata dan standar deviasi untuk melihat pola serta kestabilan hasil pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan beban kerja CPU cenderung meningkatkan konsumsi energi namun tidak sepenuhnya bersifat linear. Oleh karena itu, pengelolaan beban kerja yang tepat menjadi faktor penting dalam mendukung efisiensi energi dan penerapan konsep *green computing*.

Kata kunci: komputasi hijau, beban kerja, penggunaan CPU, konsumsi daya baterai, laptop gaming

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi komputasi yang semakin pesat telah mendorong meningkatnya penggunaan perangkat komputer dalam berbagai aktivitas, baik untuk kebutuhan akademik, pekerjaan, hingga hiburan. Hal ini terlihat jelas pada segmen laptop gaming yang menawarkan performa tinggi untuk kebutuhan komputasi berat, seperti pengolahan grafik tingkat tinggi dan *multitasking* intensif. Akan tetapi, peningkatan performa tersebut juga menyebabkan konsumsi energi

yang lebih tinggi, yang tidak hanya menambah konsumsi daya listrik, tetapi juga berpotensi mengurangi efisiensi energi keseluruhan perangkat. Konsumsi daya yang kurang efisien ini dapat memicu pemborosan energi listrik serta memperpendek umur pakai baterai. Selain itu, penggunaan perangkat dalam kondisi beban kerja tinggi secara berkelanjutan dapat mempengaruhi stabilitas dan performa baterai dalam jangka waktu panjang [1].

Penggunaan laptop gaming yang semakin luas, termasuk di sektor pendidikan dan profesional, turut menimbulkan tuntutan akan pengelolaan energi yang lebih efisien. Tanpa strategi manajemen daya yang memadai, penggunaan perangkat berkinerja tinggi ini dapat memperburuk jejak karbon digital serta menyebabkan pemborosan energi secara berkelanjutan. Dengan demikian, diperlukan strategi yang dapat memaksimalkan pemanfaatan sumber daya perangkat tanpa mengorbankan performa sistem [2], [3], [4], [5].

Dalam konteks ini, pengelolaan beban kerja menjadi salah satu faktor penting dalam menentukan efisiensi energi pada perangkat komputasi. Variasi aktivitas penggunaan, khususnya pada *Central Processing Unit (CPU)*, berkaitan dengan perubahan konsumsi energi sistem, meskipun konsumsi energi keseluruhan juga dapat dipengaruhi oleh komponen dan mekanisme manajemen daya lainnya [3], [5]. Meskipun demikian, penelitian yang ada cenderung masih bersifat umum dan belum secara spesifik mengeksplorasi keterkaitan antara variasi beban kerja dengan konsumsi daya pada perangkat berperforma tinggi seperti laptop gaming. Selain itu, sejumlah penelitian dan pendekatan pemodelan energi masih dikembangkan pada lingkungan server dan HPC sehingga belum sepenuhnya mencerminkan kondisi penggunaan pada perangkat portabel [5], [6].

Namun demikian, penelitian yang secara khusus mengkaji hubungan antara variasi beban kerja, penggunaan CPU, dan konsumsi daya baterai pada perangkat laptop dalam skenario penggunaan nyata masih tergolong terbatas, sehingga belum memberikan gambaran yang komprehensif mengenai pola konsumsi energi pada perangkat komputasi portabel [2], [3], [4].

Selain itu, keterbatasan dalam pendekatan pengukuran berbasis perangkat lunak pada sistem operasi juga menyebabkan kurangnya kajian yang mengevaluasi akurasi dan konsistensi data konsumsi energi pada kondisi operasional yang dinamis. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pengukuran berbasis perangkat lunak dapat menghasilkan perbedaan dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *physical power meter* [7], [8]. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan penelitian yang mampu mengintegrasikan analisis beban kerja, penggunaan sumber daya sistem, serta konsumsi energi dalam satu pendekatan eksperimen yang terstruktur dan terukur pada perangkat laptop gaming.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji hubungan antara beban kerja dan konsumsi energi, sebagian besar masih berfokus pada lingkungan server atau HPC yang kurang merepresentasikan kondisi penggunaan nyata pada perangkat portabel. Selain itu, sebagian besar penelitian belum mengkaji dinamika hubungan antara variasi beban kerja dan konsumsi energi pada perangkat laptop dalam kondisi operasional yang fluktuatif, khususnya pada perangkat dengan arsitektur heterogen

seperti laptop gaming yang melibatkan CPU dan GPU secara bersamaan [3], [5], [9].

Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi dengan menyajikan analisis empiris berbasis eksperimen terstruktur pada satu perangkat laptop gaming sebagai studi kasus, yang memungkinkan identifikasi pola hubungan antara variasi beban kerja, penggunaan CPU, dan konsumsi energi dalam skenario penggunaan nyata secara lebih kontekstual. Penelitian ini tidak hanya menyajikan analisis empiris, tetapi juga mengungkap bahwa hubungan antara beban kerja dan konsumsi energi tidak selalu bersifat linear, sehingga memberikan perspektif baru dalam evaluasi efisiensi energi pada perangkat komputasi portabel.

Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan strategi manajemen daya yang lebih adaptif pada perangkat laptop, khususnya dalam mendukung implementasi konsep *green computing* secara lebih efektif. Berdasarkan permasalahan tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi beban kerja terhadap konsumsi daya dan kinerja sistem pada laptop gaming dalam berbagai kondisi operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keterkaitan antara tingkat beban kerja, penggunaan *Central Processing Unit (CPU)*, serta konsumsi daya baterai pada laptop gaming guna memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang pola efisiensi energi pada perangkat berkinerja tinggi.

Metode yang diterapkan adalah eksperimen kuantitatif dengan pendekatan berbasis skenario pengujian terstruktur, yang meliputi kondisi *idle*, beban sedang, dan beban berat, untuk mengidentifikasi hubungan antara performa sistem dan efisiensi energi secara objektif dan terukur. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoritis dalam pengembangan studi *green computing*, sekaligus implikasi praktis untuk optimalisasi manajemen daya pada laptop gaming, demi mendukung pemanfaatan energi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

2. Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang efisiensi energi pada perangkat komputasi telah menarik perhatian penting dalam beberapa tahun terakhir, terutama dalam mendukung implementasi *green computing*. *Green computing* menekankan optimalisasi penggunaan sumber daya perangkat untuk meningkatkan efisiensi energi dengan tetap mempertimbangkan kebutuhan kinerja sistem [10], [11]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa strategi efisiensi energi dapat membantu mengoptimalkan konsumsi energi pada sistem komputasi modern, meskipun penerapannya dapat melibatkan trade-off antara energi dan kinerja [3], [4], [10]. Selain itu, efisiensi energi tidak hanya berkaitan dengan karakteristik perangkat keras, tetapi juga dengan pola penggunaan dan kondisi operasi sistem [2], [4]. Dalam konteks tersebut, pengelolaan beban kerja merupakan

salah satu faktor penting yang berkaitan dengan konsumsi energi perangkat komputasi [2], [3].

Penelitian sebelumnya menunjukkan adanya hubungan antara variasi beban kerja, utilisasi CPU, dan konsumsi energi, terutama pada kondisi komputasi yang intensif [2], [3], [5]. Studi mengenai pemodelan energi menunjukkan bahwa utilisasi CPU dapat digunakan sebagai salah satu variabel untuk mengestimasi konsumsi energi prosesor, meskipun akurasinya dapat dipengaruhi oleh faktor lain dalam sistem [5], [7]. Meskipun demikian, banyak penelitian dan pendekatan pemodelan energi dikembangkan pada lingkungan server, HPC, dan data center [5], [6].

Hal ini menyebabkan penerapan hasil penelitian pada lingkungan server atau HPC perlu dipertimbangkan kembali ketika digunakan pada perangkat portabel seperti laptop, karena karakteristik dan mekanisme manajemen energinya berbeda [2], [3], [4]. Selain itu, perangkat laptop memiliki karakteristik tersendiri, termasuk keterbatasan baterai dan mekanisme pengelolaan daya, yang dapat memengaruhi pola konsumsi energi [1].

Penelitian lain menyatakan bahwa pengukuran konsumsi energi pada perangkat portabel masih dihadapkan dengan kendala akurasi dan konsistensi data [9], [7], [8]. Pendekatan berbasis variasi beban kerja sering digunakan untuk merepresentasikan kondisi operasional sistem dalam berbagai tingkat aktivitas komputasi [3], [5].

Selain itu, penggunaan metode eksperimen kuantitatif memungkinkan evaluasi hubungan antara aktivitas komputasi, penggunaan sumber daya, dan konsumsi energi melalui skenario pengujian yang terstruktur [9], [12], [13]. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa variasi skenario pengujian dapat digunakan untuk membandingkan pola konsumsi energi pada kondisi operasional yang berbeda [2], [5]. Oleh karena itu, analisis terhadap hubungan antara variasi beban kerja, penggunaan CPU, dan konsumsi energi menjadi penting untuk dilakukan, terutama pada perangkat laptop gaming yang menuntut penggunaan intensif.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas hubungan antara beban kerja dan konsumsi energi, sebagian besar masih berfokus pada lingkungan server dan HPC, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi penggunaan pada perangkat portabel seperti laptop [5], [14]. Selain itu, penelitian yang secara khusus mengkaji hubungan antara variasi beban kerja, penggunaan CPU, dan konsumsi daya baterai pada laptop gaming dalam skenario penggunaan nyata masih terbatas [2], [3], [4]. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan analisis berbasis eksperimen pada perangkat laptop gaming dalam berbagai kondisi beban kerja guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai efisiensi energi dalam konteks *green computing*.

2.1 Analisis Beban Kerja dan Konsumsi Energi

Analisis beban kerja dalam konteks komputasi berkaitan dengan tingkat aktivitas sistem yang mempengaruhi penggunaan sumber daya, khususnya CPU. Variasi beban kerja akan menghasilkan respons yang berbeda terhadap penggunaan sumber daya sistem, yang pada akhirnya berdampak pada konsumsi energi perangkat. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa peningkatan beban kerja akan meningkatkan penggunaan CPU, yang secara langsung mempengaruhi konsumsi daya sistem [5], [7]. Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas CPU akan meningkatkan konsumsi daya secara signifikan, terutama pada kondisi komputasi intensif [3], [15].

Namun demikian, hubungan tersebut tidak selalu bersifat linear, karena dipengaruhi oleh karakteristik *workload* yang dijalankan, seperti sifat beban yang bersifat sementara (*burst*) atau tidak berkelanjutan. Dalam praktiknya, variasi kondisi operasional seperti *idle*, beban sedang, dan beban berat menjadi parameter penting dalam analisis efisiensi energi [2], [5]. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih akurat terhadap pola konsumsi energi berdasarkan kondisi penggunaan nyata.

Selain itu, pada perangkat laptop gaming, penggunaan CPU tidak selalu menjadi satu-satunya faktor yang menentukan konsumsi energi, karena terdapat komponen lain seperti GPU yang juga berperan dalam proses komputasi [3], [5]. Oleh karena itu, analisis beban kerja perlu dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan karakteristik sistem dan pola penggunaan sumber daya. Pendekatan ini menjadi sangat relevan pada perangkat laptop gaming yang memiliki pola penggunaan dinamis serta kebutuhan daya yang tinggi, sehingga analisis beban kerja dapat memberikan gambaran yang lebih representatif terhadap konsumsi energi sistem.

Dengan memahami hubungan antara beban kerja dan konsumsi energi, pengguna dapat mengelola aktivitas komputasi secara lebih efisien sehingga mendukung penerapan konsep *green computing*.

2.2 Pendekatan Eksperimen dalam Analisis Energi

Pendekatan eksperimen kuantitatif banyak digunakan dalam penelitian mengenai konsumsi energi karena memungkinkan pengukuran langsung terhadap penggunaan sumber daya sistem [9], [12], [16]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan skenario pengujian yang terstruktur dapat membantu mengidentifikasi keterkaitan antara kinerja sistem dan konsumsi energi pada kondisi operasional yang berbeda [2], [5].

Selain itu, pendekatan eksperimen juga memungkinkan pengumpulan data yang konsisten, sehingga dapat dimanfaatkan untuk analisis kuantitatif yang terukur. Oleh karena itu, metode eksperimen merupakan

pendekatan yang tepat untuk menganalisis dampak variasi beban kerja terhadap konsumsi energi pada laptop gaming.

3. Metodologi Penelitian

3.1 Analisis Permasalahan

Tahap awal dalam penelitian ini adalah melakukan analisis terhadap permasalahan yang berkaitan dengan konsumsi energi pada perangkat laptop gaming akibat variasi beban kerja. Laptop gaming sebagai perangkat dengan spesifikasi tinggi dirancang untuk menangani aktivitas komputasi intensif, seperti pengolahan grafis dan *multitasking*, yang secara langsung berdampak pada tingginya penggunaan sumber daya sistem, khususnya CPU. Kondisi tersebut menyebabkan kebutuhan daya yang relatif besar dibandingkan perangkat komputasi pada umumnya.

Namun demikian, berdasarkan pengamatan awal dalam proses pengujian, ditemukan bahwa konsumsi energi tidak selalu meningkat secara linear seiring dengan peningkatan tingkat beban kerja. Pada kondisi *idle*, penggunaan CPU tidak berada pada nilai minimum yang konstan, melainkan tetap menunjukkan adanya aktivitas akibat proses latar belakang sistem operasi. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi *idle* tidak sepenuhnya merepresentasikan keadaan tanpa beban, sehingga tetap berkontribusi terhadap konsumsi daya baterai.

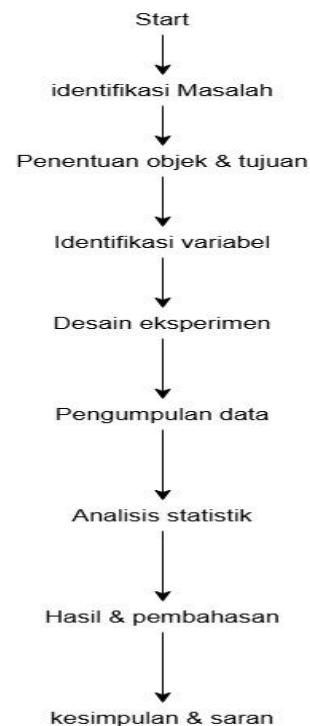
Pada kondisi beban sedang, terjadi peningkatan penggunaan CPU yang cukup signifikan seiring dengan aktivitas komputasi yang dijalankan. Namun, pada kondisi beban berat, hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan CPU tidak selalu lebih tinggi dibandingkan kondisi beban sedang. Fenomena ini menunjukkan bahwa tingkat beban kerja yang diberikan tidak secara otomatis menghasilkan pemanfaatan CPU yang maksimal. Dengan kata lain, terdapat kemungkinan bahwa beban kerja yang dijalankan bersifat tidak berkelanjutan (*burst load*) atau tidak sepenuhnya mengoptimalkan kinerja prosesor.

Temuan tersebut mengindikasikan adanya ketidaksesuaian antara asumsi umum dengan kondisi aktual di lapangan. Secara umum, pengguna beranggapan bahwa konsumsi daya akan meningkat secara signifikan hanya pada saat menjalankan aplikasi berat. Namun, hasil pengujian menunjukkan bahwa aktivitas ringan hingga menengah serta proses latar belakang juga memberikan kontribusi terhadap penggunaan CPU dan konsumsi energi, bahkan dalam beberapa kondisi lebih dominan dibandingkan beban berat yang tidak optimal.

Permasalahan utama dalam penelitian ini terletak pada kurangnya pemahaman terhadap hubungan empiris antara variasi beban kerja, penggunaan CPU, dan konsumsi daya baterai. Tanpa pemahaman yang jelas,

penggunaan perangkat berpotensi menjadi tidak efisien dan menyebabkan pemborosan energi.

Oleh karena itu, diperlukan analisis yang lebih mendalam untuk mengidentifikasi pola hubungan antara tingkat beban kerja dengan penggunaan CPU serta dampaknya terhadap konsumsi energi. Analisis ini menjadi penting dalam mendukung penerapan konsep *green computing*, yang menekankan pada efisiensi penggunaan sumber daya dan pengurangan konsumsi energi. Dengan memahami karakteristik penggunaan CPU pada berbagai kondisi beban kerja, diharapkan pengguna dapat mengelola penggunaan perangkat secara lebih optimal sehingga efisiensi energi dapat ditingkatkan.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

3.2 Penentuan Objek dan Tujuan Penelitian

Pada tahap ini ditentukan objek penelitian berupa satu unit laptop gaming yang digunakan sebagai media utama dalam proses pengujian. Pemilihan laptop gaming sebagai objek penelitian didasarkan pada karakteristiknya yang memiliki kemampuan komputasi tinggi serta kebutuhan daya yang relatif besar dibandingkan perangkat komputasi konvensional. Perangkat ini dirancang untuk menangani beban kerja intensif, sehingga relevan digunakan untuk menganalisis hubungan antara variasi beban kerja, penggunaan CPU, dan konsumsi energi dalam berbagai kondisi operasional.

Selain itu, laptop gaming umumnya dilengkapi dengan arsitektur prosesor multi-core dan dukungan GPU diskrit, yang memungkinkan terjadinya variasi penggunaan sumber daya secara dinamis. Hal ini

menjadikan perangkat tersebut sebagai representasi yang tepat untuk mengkaji perilaku konsumsi energi pada sistem berperforma tinggi, khususnya dalam konteks penelitian yang menekankan pada efisiensi energi (*green computing*).

Penggunaan satu perangkat sebagai objek penelitian bertujuan untuk menjaga konsistensi kondisi pengujian, sehingga variasi data yang dihasilkan dapat lebih terfokus pada pengaruh beban kerja, bukan pada perbedaan spesifikasi perangkat. Dengan pendekatan ini, validitas internal penelitian dapat lebih terjaga karena faktor-faktor eksternal yang berpotensi mempengaruhi hasil dapat diminimalkan.

Namun demikian, pendekatan ini juga memiliki keterbatasan. Hasil penelitian yang diperoleh tidak dapat digeneralisasikan secara langsung pada seluruh jenis laptop dengan spesifikasi yang berbeda. Perbedaan arsitektur prosesor, kapasitas memori, serta efisiensi manajemen daya pada masing-masing perangkat dapat menghasilkan pola konsumsi energi yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini lebih difokuskan pada analisis hubungan antar variabel dalam konteks perangkat yang digunakan sebagai objek uji, bukan untuk generalisasi luas.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa tingkat beban kerja tidak selalu berbanding lurus dengan penggunaan CPU secara maksimal. Pada beberapa kondisi, beban kerja yang dikategorikan sebagai berat tidak menunjukkan peningkatan penggunaan CPU yang signifikan dibandingkan beban sedang. Hal ini mengindikasikan bahwa karakteristik *workload* yang dijalankan serta kemampuan sistem dalam mengelola sumber daya turut mempengaruhi tingkat pemanfaatan CPU. Dengan demikian, spesifikasi perangkat menjadi faktor penting dalam menginterpretasikan hasil penelitian, karena berpengaruh langsung terhadap pola penggunaan CPU dan konsumsi energi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis secara empiris pengaruh variasi beban kerja terhadap penggunaan CPU dan konsumsi daya baterai pada laptop gaming. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi pola penggunaan sumber daya sistem pada berbagai kondisi operasional, termasuk pada kondisi yang tidak sepenuhnya optimal, sehingga dapat diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai efisiensi energi perangkat.

Dalam konteks *green computing*, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai pentingnya pengelolaan beban kerja dan pemanfaatan sumber daya secara optimal. Dengan memahami hubungan antara aktivitas komputasi dan konsumsi energi, pengguna diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan perangkat untuk mengurangi pemborosan energi serta meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

Tabel 1. Spesifikasi Laptop Pengujian

Komponen	Spesifikasi
Processor	Intel Core i5-13450HX (13th Gen)
Jumlah Core	10 cores
Logical Processor	16 threads
Base Clock	2.40 GHz
RAM	12 GB
Storage	SSD NVMe
GPU 1	NVIDIA GeForce RTX 3050 6GB Laptop GPU
GPU 2	Intel UHD Graphics
Sistem Operasi	Windows 11
Mode Daya	Balanced

3.3 Identifikasi Variabel Penelitian

Namun demikian, berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa klasifikasi beban kerja tidak selalu berbanding lurus dengan tingkat pemanfaatan CPU secara maksimal. Pada kondisi tertentu, beban kerja yang dikategorikan sebagai berat tidak menunjukkan peningkatan penggunaan CPU yang signifikan dibandingkan beban sedang. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik *workload* yang dijalankan, seperti sifat beban yang tidak berkelanjutan (*burst load*) atau tidak sepenuhnya memanfaatkan kemampuan prosesor, turut mempengaruhi hasil pengukuran. Oleh karena itu, variabel bebas dalam penelitian ini tidak hanya dipandang sebagai tingkat beban secara konseptual, tetapi juga sebagai representasi aktivitas sistem yang bersifat dinamis.

Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi penggunaan CPU dan konsumsi daya baterai sebagai indikator utama dalam mengukur respons sistem terhadap perubahan beban kerja. Penggunaan CPU dinyatakan dalam bentuk persentase (%) yang menunjukkan tingkat pemanfaatan sumber daya pemrosesan selama pengujian berlangsung. Sementara itu, konsumsi daya baterai diukur berdasarkan perubahan persentase kapasitas baterai sebelum dan sesudah pengujian pada setiap skenario.

Pemilihan kedua variabel tersebut didasarkan pada keterkaitannya yang erat dengan efisiensi energi sistem. Penggunaan CPU mencerminkan aktivitas komputasi yang berlangsung, sedangkan konsumsi daya baterai menggambarkan dampak langsung dari aktivitas tersebut terhadap penggunaan energi. Dengan demikian, hubungan antara kedua variabel ini menjadi penting untuk dianalisis dalam konteks evaluasi kinerja dan efisiensi perangkat.

Selain variabel bebas dan variabel terikat, penelitian ini juga menetapkan variabel kontrol yang dijaga tetap konstan selama proses pengujian berlangsung. Variabel kontrol tersebut meliputi durasi pengujian, penggunaan mode daya *balanced*, kondisi awal baterai, tingkat kecerahan layar, serta kondisi sistem secara keseluruhan. Pengendalian variabel ini bertujuan untuk memastikan bahwa perubahan hasil pengujian yang terjadi benar-benar disebabkan oleh variasi beban kerja, bukan oleh faktor lain di luar ruang lingkup penelitian.

Dengan penentuan variabel yang jelas dan terstruktur, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan data yang valid dan reliabel. Selain itu, pendekatan ini juga memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap hubungan antara variasi beban kerja, penggunaan CPU, dan konsumsi energi. Hasil analisis tersebut diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memahami efisiensi penggunaan sumber daya sistem, khususnya dalam mendukung penerapan konsep *green computing* pada perangkat komputasi modern.

3.4 Arsitektur Variabel Penelitian

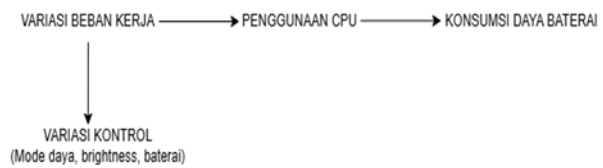
Arsitektur variabel dalam penelitian ini disusun untuk menggambarkan hubungan antara variabel yang digunakan, sehingga alur pengaruh antar variabel dapat dipahami secara sistematis. Penyusunan arsitektur ini bertujuan untuk menjelaskan bagaimana variasi beban kerja sebagai variabel bebas mempengaruhi penggunaan CPU dan konsumsi daya baterai sebagai variabel terikat, dengan tetap mempertimbangkan variabel kontrol yang dijaga konstan selama pengujian.

Dalam penelitian ini, variabel bebas berupa variasi beban kerja diklasifikasikan ke dalam tiga kondisi, yaitu *idle*, beban sedang, dan beban berat. Variasi ini menjadi faktor utama yang memicu perubahan pada sistem. Setiap perubahan tingkat beban kerja akan menghasilkan respons sistem yang tercermin melalui peningkatan atau penurunan penggunaan CPU.

Selanjutnya, penggunaan CPU berperan sebagai variabel terikat utama yang secara langsung dipengaruhi oleh variasi beban kerja. Perubahan nilai penggunaan CPU kemudian berdampak pada konsumsi daya baterai, sehingga konsumsi energi dapat dianalisis sebagai konsekuensi dari aktivitas komputasi yang berlangsung. Dengan demikian, hubungan antar variabel dalam penelitian ini bersifat berurutan, yaitu dari beban kerja menuju penggunaan CPU, kemudian berlanjut pada konsumsi daya baterai.

Selain itu, terdapat variabel kontrol yang dijaga tetap konstan untuk memastikan bahwa perubahan yang terjadi benar-benar disebabkan oleh variasi beban kerja. Variabel kontrol tersebut meliputi durasi pengujian, mode daya *balanced*, kondisi awal baterai, tingkat kecerahan layar, serta kondisi sistem secara keseluruhan. Pengendalian variabel ini penting untuk menjaga validitas hasil penelitian.

Berdasarkan hubungan tersebut, arsitektur variabel dalam penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Arsitektur Variabel Penelitian

Struktur hubungan ini menunjukkan bahwa penggunaan CPU berperan sebagai variabel perantara (*intervening variable*) yang menghubungkan beban kerja dengan konsumsi energi. Hal ini juga menjelaskan bahwa peningkatan konsumsi daya tidak hanya dipengaruhi secara langsung oleh beban kerja, tetapi juga oleh bagaimana sistem memanfaatkan sumber daya CPU dalam merespons beban tersebut.

Dengan adanya arsitektur variabel yang jelas, penelitian ini mampu memberikan kerangka analisis yang terstruktur dalam mengkaji hubungan antara aktivitas komputasi dan efisiensi energi, khususnya dalam konteks *green computing*.

3.5 Metode Eksperimen

Metode eksperimen dalam penelitian ini digunakan sebagai pendekatan utama untuk mengkaji hubungan antara variasi beban kerja dengan penggunaan CPU serta konsumsi daya baterai pada laptop gaming. Pendekatan eksperimen dipilih karena memungkinkan pengamatan langsung terhadap respons sistem dalam kondisi yang terkontrol, sehingga hubungan antar variabel dapat dianalisis secara objektif berdasarkan data empiris.

Eksperimen dirancang dengan memberikan variasi beban kerja yang merepresentasikan tingkat aktivitas penggunaan perangkat, yaitu kondisi *idle*, beban sedang, dan beban berat. Setiap skenario pengujian dilakukan dengan durasi yang sama untuk menjaga konsistensi hasil serta meminimalkan bias pengukuran.

Dalam pelaksanaannya, metode ini tidak hanya berfokus pada pengukuran nilai penggunaan CPU, tetapi juga pada bagaimana sistem beradaptasi terhadap perubahan beban kerja. Respons adaptif sistem ini menjadi indikator penting dalam memahami hubungan antara performa komputasi dan konsumsi energi.

Selain itu, seluruh proses eksperimen dilakukan dalam kondisi yang dikontrol secara ketat, meliputi mode daya (*balanced*), tingkat kecerahan layar, serta kondisi awal baterai. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa perubahan yang terjadi benar-benar disebabkan oleh variasi beban kerja, bukan oleh faktor eksternal lainnya.

Dengan pendekatan ini, penelitian mampu menghasilkan data yang tidak hanya kuantitatif, tetapi juga memberikan pemahaman terhadap perilaku sistem

dalam konteks efisiensi energi, yang menjadi bagian penting dalam konsep *green computing*.

3.6 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui pendekatan pengukuran langsung menggunakan alat bantu sistem, yaitu *Performance Monitor* pada sistem operasi Windows. Pendekatan ini dipilih karena mampu merekam data penggunaan CPU secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Data yang dikumpulkan meliputi persentase penggunaan CPU (% *Processor Time*), data waktu (*timestamp*), jumlah sampel pada setiap skenario pengujian.

Setiap skenario pengujian (*idle*, sedang, dan berat) dilakukan dengan jumlah pengulangan yang sama untuk memastikan konsistensi data. Hasil pengukuran kemudian diekspor dalam format *.csv* untuk memudahkan proses analisis lebih lanjut.

Proses pengumpulan data dilakukan secara sistematis dan terstruktur, sehingga data yang diperoleh memiliki tingkat validitas dan reliabilitas yang baik. Dengan demikian, data tidak hanya berfungsi sebagai hasil pengukuran, tetapi juga sebagai dasar dalam mengidentifikasi pola hubungan antara variasi beban kerja dan penggunaan sumber daya sistem.

3.7 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan statistik deskriptif untuk menginterpretasikan hasil pengujian secara kuantitatif dan sistematis. Pendekatan ini digunakan untuk memahami hubungan antara variasi beban kerja, penggunaan CPU, dan konsumsi daya baterai tanpa menggunakan model prediktif yang kompleks.

1. Perhitungan Rata-Rata

Rata-rata digunakan untuk mengetahui nilai representatif dari penggunaan CPU dan konsumsi daya baterai pada setiap skenario pengujian. Nilai ini mencerminkan kecenderungan umum sistem selama periode pengamatan.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

x_i = data ke-*i*

n = jumlah data

Nilai rata-rata digunakan sebagai dasar dalam membandingkan tingkat penggunaan CPU antar variasi beban kerja, sehingga dapat diketahui kondisi mana yang memiliki konsumsi sumber daya paling tinggi.

2. Perhitungan Standar Deviasi

Standar deviasi digunakan untuk mengukur tingkat penyebaran data terhadap nilai rata-rata. Parameter ini

penting untuk mengetahui tingkat kestabilan penggunaan CPU selama pengujian berlangsung.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

Keterangan:

SD = Standar deviasi

x_i = Data ke-*i*

$\bar{x}$ = Rata-rata

n = Jumlah data

Nilai standar deviasi yang tinggi menunjukkan bahwa penggunaan CPU cenderung tidak stabil dan mengalami perubahan yang signifikan selama pengujian, sedangkan nilai yang rendah menunjukkan kondisi sistem yang lebih stabil.

3. Estimasi Konsumsi Daya

Estimasi konsumsi daya dilakukan menggunakan pendekatan model linear berdasarkan tingkat utilisasi CPU. Pendekatan ini digunakan untuk menggambarkan hubungan antara penggunaan CPU dengan konsumsi energi perangkat, mengingat tidak dilakukan pengukuran daya secara langsung menggunakan alat ukur khusus.

Model estimasi konsumsi daya yang digunakan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

$$P = P_{idle} + (P_{max} - P_{idle}) \times \frac{CPU}{100} \quad (3)$$

Keterangan:

P = Konsumsi Daya (*Watt*)

P_{idle} = Daya saat *Idle*

P_{max} = Daya Maksimum

CPU = Penggunaan CPU (%)

Model ini mengasumsikan bahwa konsumsi daya meningkat secara proporsional terhadap tingkat penggunaan CPU, di mana nilai konsumsi daya berada pada titik minimum saat kondisi *idle* dan mencapai nilai maksimum saat CPU bekerja pada kapasitas penuh.

Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan estimasi konsumsi daya tanpa memerlukan perangkat pengukuran langsung seperti power meter, yang memiliki keterbatasan dalam implementasi pada lingkungan pengujian tertentu. Selain itu, model linear digunakan sebagai pendekatan awal untuk menangkap kecenderungan hubungan antara utilisasi CPU dan konsumsi energi, bukan untuk menghasilkan nilai konsumsi daya absolut.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konsumsi daya prosesor memiliki hubungan yang mendekati linear terhadap tingkat utilisasi CPU dalam rentang operasional tertentu, meskipun tidak sepenuhnya merepresentasikan kontribusi komponen lain seperti GPU, memori, serta mekanisme manajemen daya sistem. Oleh karena itu, model ini digunakan sebagai pendekatan estimatif dengan tingkat akurasi

yang moderat sesuai dengan tujuan analisis deskriptif penelitian ini.

Pendekatan model linear ini banyak digunakan dalam penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa konsumsi daya prosesor memiliki hubungan yang mendekati linear terhadap tingkat utilisasi CPU, dengan mempertimbangkan nilai daya saat *idle* dan daya maksimum [17], [18].

Nilai P_{idle} dan P_{max} dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan pendekatan literatur yang menunjukkan bahwa konsumsi daya laptop pada kondisi *idle* berada pada kisaran 10–20 Watt, sedangkan konsumsi daya maksimum dapat mencapai 60 Watt atau lebih tergantung pada spesifikasi perangkat [19]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan nilai P_{idle} sebesar 15 Watt dan P_{max} sebesar 70 Watt sebagai pendekatan yang masih berada dalam rentang realistis.

Model yang digunakan dalam penelitian ini bersifat estimatif dan bertujuan untuk menggambarkan kecenderungan konsumsi daya, bukan sebagai pengukuran daya secara langsung.

4. Analisis Hubungan Variabel

Hasil perhitungan statistik digunakan untuk mengidentifikasi pola peningkatan CPU, menganalisis kestabilan sistem, mengevaluasi hubungan CPU dan konsumsi daya, membandingkan efisiensi energi antara beban kerja.

Analisis dilakukan secara komparatif antar skenario untuk melihat perbedaan karakteristik penggunaan sumber daya.

5. Interpretasi dalam Perspektif *Green Computing*

Dalam konteks *green computing*, analisis data tidak hanya bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem, tetapi juga untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan energi. Sistem yang efisien ditandai dengan penggunaan sumber daya yang optimal terhadap konsumsi daya yang dihasilkan.

Apabila peningkatan penggunaan CPU tidak diikuti dengan peningkatan kinerja yang signifikan, maka kondisi tersebut dapat dikategorikan sebagai inefisiensi energi. Oleh karena itu, hasil analisis digunakan untuk mengidentifikasi potensi pemborosan energi serta memberikan gambaran mengenai efektivitas penggunaan perangkat dalam berbagai kondisi beban kerja.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian

Berdasarkan metodologi penelitian yang telah dijelaskan pada Bab 3, bagian ini menyajikan hasil pengujian yang dilakukan untuk menganalisis hubungan antara variasi beban kerja terhadap penggunaan CPU serta

implikasinya terhadap konsumsi daya pada perangkat laptop gaming.

Data diperoleh melalui proses pengukuran menggunakan *Performance Monitor* dengan parameter utama % *Processor Time*, yang merepresentasikan tingkat utilisasi CPU selama sistem beroperasi. Data hasil pengukuran tersebut disimpan dalam bentuk file .csv, di mana setiap file berisi ratusan hingga ribuan data penggunaan CPU yang direkam dalam interval waktu tertentu selama pengujian berlangsung.

Pengolahan data dilakukan menggunakan pendekatan statistik deskriptif dengan bantuan perangkat lunak pengolah data. Nilai rata-rata (*mean*) dihitung dengan menjumlahkan seluruh data penggunaan CPU kemudian dibagi dengan jumlah data, sedangkan standar deviasi digunakan untuk mengukur tingkat variasi data terhadap nilai rata-rata. Dengan menggunakan seluruh data dalam file .csv, hasil analisis yang diperoleh bersifat representatif dan mencerminkan kondisi sistem secara menyeluruh selama pengujian.

Pengujian dilakukan dalam tiga kondisi utama, yaitu kondisi *idle*, beban sedang, dan beban berat. Masing-masing kondisi diuji sebanyak tiga kali untuk meningkatkan reliabilitas hasil serta meminimalkan pengaruh variasi pengukuran.

4.2 Data Hasil Pengujian Pada Setiap Skenario

Hasil pengolahan data penggunaan CPU pada setiap skenario pengujian disajikan pada Tabel 2, yang memuat nilai rata-rata (*mean*) dan standar deviasi dari setiap pengulangan pengujian.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Penggunaan CPU

Kondisi	Uji ke-	Mean CPU (%)	Standar Deviasi
<i>Idle</i>	1	14.91	12.42
<i>Idle</i>	2	13.47	11.05
<i>Idle</i>	3	12.69	11.31
Sedang	1	20.77	13.78
Sedang	2	18.07	13.17
Sedang	3	14.07	11.99
Berat	1	16.79	12.97
Berat	2	15.42	12.25
Berat	3	16.20	12.74

Berdasarkan Tabel 2. terlihat bahwa nilai penggunaan CPU pada setiap pengujian menunjukkan variasi yang cukup signifikan, baik pada kondisi *idle*, sedang, maupun berat. Variasi ini menunjukkan bahwa penggunaan CPU bersifat dinamis dan tidak konstan selama pengujian berlangsung.

Pada kondisi *idle*, meskipun tidak terdapat aktivitas utama dari pengguna, penggunaan CPU tetap berada pada kisaran 12–15%. Hal ini menunjukkan adanya aktivitas proses latar belakang (*background process*) dari sistem operasi yang tetap berjalan dan memanfaatkan sumber daya CPU.

Pada kondisi beban sedang, terlihat adanya peningkatan penggunaan CPU hingga mencapai nilai rata-rata tertinggi sebesar 20.77% pada salah satu pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas komputasi yang dilakukan pada skenario ini mampu meningkatkan pemanfaatan CPU secara signifikan.

Sementara itu, pada kondisi beban berat, penggunaan CPU tidak menunjukkan peningkatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan kondisi sedang. Hal ini menunjukkan bahwa beban kerja yang diberikan belum sepenuhnya mengoptimalkan penggunaan CPU, atau kemungkinan sebagian beban kerja dialihkan ke komponen lain seperti GPU.

4.3 Hasil Agregasi Penggunaan CPU

Untuk memperoleh gambaran umum dari setiap kondisi beban kerja, dilakukan perhitungan rata-rata dari seluruh pengujian yang telah dilakukan. Hasil agregasi tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata Penggunaan CPU pada Variasi Beban Kerja

Kondisi Beban	Rata-rata CPU (%)	Estimasi Daya (Watt)
<i>Idle</i>	13.69	22.53
Sedang	17.64	24.70
Berat	16.14	23.88

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa penggunaan CPU meningkat dari kondisi *idle* ke kondisi beban sedang. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas komputasi memberikan dampak langsung terhadap peningkatan penggunaan sumber daya CPU.

Namun demikian, pada kondisi beban berat, penggunaan CPU tidak menunjukkan peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan kondisi sedang. Fenomena ini menunjukkan bahwa hubungan antara beban kerja dan penggunaan CPU tidak sepenuhnya bersifat linear.

Nilai standar deviasi yang relatif tinggi pada seluruh kondisi menunjukkan bahwa penggunaan CPU mengalami fluktuasi selama pengujian berlangsung. Fluktuasi ini mencerminkan adanya dinamika sistem yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti proses latar belakang, manajemen sumber daya oleh sistem operasi, serta karakteristik *workload* yang dijalankan.

4.4 Analisis Penggunaan CPU pada Variasi Beban Kerja

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3, terlihat bahwa penggunaan CPU

mengalami variasi pada setiap kondisi beban kerja. Pada kondisi *idle*, nilai rata-rata penggunaan CPU berada pada tingkat terendah, namun tidak menunjukkan nilai nol. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem tetap menjalankan proses latar belakang yang berkontribusi terhadap penggunaan sumber daya.

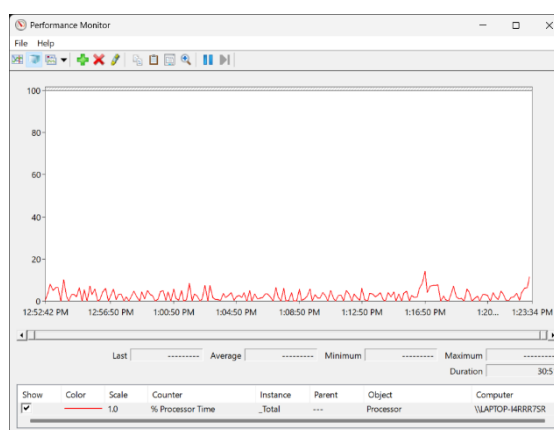
Pada kondisi beban sedang, terjadi peningkatan penggunaan CPU yang cukup signifikan dibandingkan kondisi *idle*. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas komputasi yang dijalankan mampu meningkatkan pemanfaatan sumber daya sistem. Namun demikian, pada kondisi beban berat, nilai penggunaan CPU tidak selalu lebih tinggi dibandingkan beban sedang.

Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan beban kerja tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan penggunaan CPU. Hal tersebut mengindikasikan bahwa karakteristik *workload* yang dijalankan memiliki pengaruh terhadap distribusi beban kerja dalam sistem. Dalam beberapa kasus, beban kerja yang lebih berat dapat didistribusikan ke komponen lain seperti GPU, sehingga tidak sepenuhnya membebani CPU.

Dengan demikian, penggunaan CPU dalam penelitian ini tidak hanya dipengaruhi oleh beban kerja, tetapi juga oleh manajemen sumber daya sistem dan karakteristik aplikasi yang dijalankan.

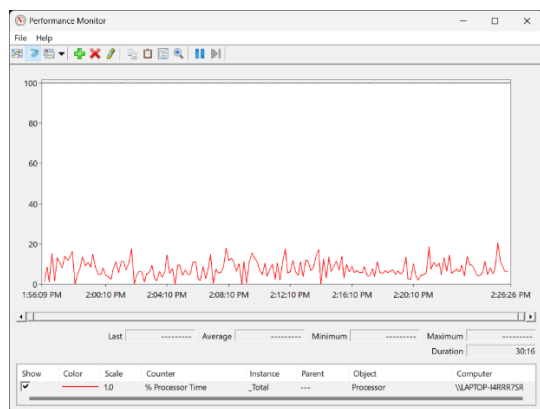
4.5 Validasi Hasil Pengujian

Dokumentasi hasil pengujian menggunakan *Performance Monitor* ditunjukkan pada Gambar 3 hingga Gambar 5. Setiap skenario pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk memastikan konsistensi data. Gambar yang ditampilkan merupakan salah satu representasi dari hasil pengujian, sedangkan keseluruhan data hasil pengujian telah diolah dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik pada bagian sebelumnya.



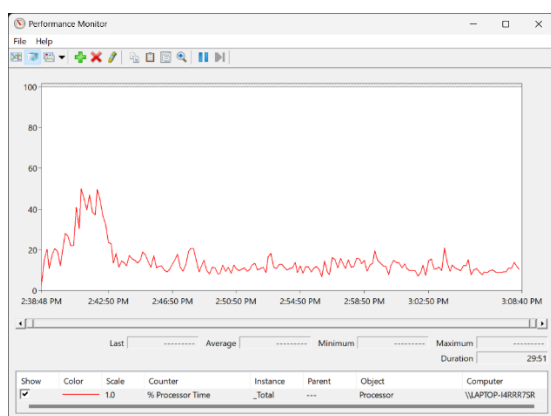
Gambar 3. Hasil *Performance Monitor* pada Kondisi *Idle*

Gambar 3 menunjukkan penggunaan CPU pada kondisi *Idle* yang relatif rendah dengan fluktuasi kecil. Fluktuasi tersebut disebabkan oleh aktivitas proses latar belakang sistem operasi yang tetap berjalan meskipun tidak terdapat aktivitas utama dari pengguna.



Gambar 4. Hasil *Performance Monitor* pada Kondisi Beban Sedang

Gambar 4 menunjukkan penggunaan CPU pada kondisi beban sedang yang mengalami peningkatan dibandingkan kondisi *idle*. Terlihat bahwa penggunaan CPU berada pada tingkat yang lebih tinggi dengan fluktuasi yang relatif stabil, yang menunjukkan bahwa sistem mulai memanfaatkan sumber daya CPU secara lebih aktif dalam merespons beban kerja yang diberikan.



Gambar 5. Hasil *Performance Monitor* pada Kondisi Beban berat

Gambar 5 menunjukkan penggunaan CPU pada kondisi beban berat yang mengalami peningkatan signifikan pada awal pengujian, ditandai dengan lonjakan penggunaan CPU yang cukup tinggi. Setelah fase awal tersebut, penggunaan CPU cenderung mengalami penurunan dan stabil pada tingkat tertentu. Pola ini menunjukkan bahwa sistem mengalami beban kerja intensif pada awal proses sebelum mencapai kondisi yang lebih stabil, yang mencerminkan mekanisme adaptasi sistem terhadap beban kerja yang diberikan.

4.6 Analisis Variabilitas Penggunaan CPU

Variabilitas penggunaan CPU dianalisis menggunakan nilai standar deviasi untuk mengetahui tingkat kestabilan sistem pada setiap kondisi pengujian. Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa nilai standar deviasi pada kondisi beban sedang dan berat cenderung lebih tinggi dibandingkan kondisi *idle*.

Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan CPU pada kondisi beban yang lebih tinggi bersifat lebih fluktuatif.

Fluktuasi tersebut disebabkan oleh perubahan intensitas proses yang terjadi secara dinamis selama pengujian berlangsung. Kondisi ini umum terjadi pada sistem komputasi modern yang menjalankan berbagai proses secara bersamaan.

Sebaliknya, pada kondisi *idle*, meskipun terdapat aktivitas sistem, penggunaan CPU cenderung lebih stabil dengan variasi yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa sistem berada pada kondisi operasional yang relatif konstan.

Variabilitas ini menjadi indikator penting dalam menilai efisiensi penggunaan sumber daya, karena sistem yang terlalu fluktuatif dapat mengindikasikan penggunaan energi yang kurang optimal.

4.7 Analisis Konsumsi Daya

Fenomena Non-Linearitas Beban Kerja terhadap Konsumsi Daya: Analisis Berbasis Mekanisme Sistem

Hasil estimasi konsumsi daya pada Tabel 4 mengungkap suatu anomali yang secara superfisial tampak bertentangan dengan asumsi linear: kondisi beban berat menghasilkan utilisasi CPU rata-rata 16,14% dengan estimasi daya 23,88 Watt, sedangkan kondisi beban sedang mencatat utilisasi CPU lebih tinggi sebesar 17,64% dengan daya 24,70 Watt. Apabila hubungan CPU–daya diasumsikan bersifat monoton-linear, peningkatan klasifikasi beban seharusnya menghasilkan utilisasi dan daya yang selalu lebih tinggi. Kenyataan bahwa beban berat justru menghasilkan utilisasi CPU dan konsumsi daya lebih rendah dibanding beban sedang bukan merupakan anomali pengukuran, melainkan merupakan konsekuensi yang dapat diprediksi dari lima mekanisme sistem yang bekerja secara simultan dan saling berinteraksi, sebagaimana diuraikan berikut ini.

Hipotesis 1: *GPU Offloading* sebagai Redistribusi Beban Komputasi

Laptop gaming yang digunakan dalam penelitian ini dilengkapi dengan dua unit GPU, yaitu NVIDIA GeForce RTX 3050 6GB dan Intel UHD Graphics (Tabel 1). Pada kondisi beban berat yang melibatkan tugas dengan konten grafis atau komputasi paralel tinggi, sistem operasi *Windows 11* secara otomatis mendelegasikan sebagian besar instruksi ke GPU melalui mekanisme hardware-accelerated scheduling. Proses ini secara langsung menurunkan proporsi instruksi yang harus dieksekusi oleh CPU. [20] membuktikan bahwa pada perangkat dengan arsitektur heterogen CPU-GPU, redistribusi beban ke GPU menghasilkan penurunan utilisasi CPU yang signifikan tanpa mengurangi *throughput* komputasi keseluruhan. Dalam konteks penelitian ini, utilisasi CPU yang lebih rendah pada kondisi beban berat (16,14%) dibanding beban sedang (17,64%) merupakan indikator bahwa GPU berperan aktif mengambil alih komputasi dari CPU, bukan indikasi bahwa beban kerja lebih ringan.

Hipotesis 2: *Thermal Throttling* sebagai Mekanisme Proteksi Termal Prosesor

Intel Core i5-13450HX (13th Gen) yang digunakan memiliki mekanisme *Dynamic Frequency Scaling* berbasis sensor termal yang dikendalikan oleh Intel Thermal Velocity Boost dan Power Limit Throttling. Ketika beban kerja meningkat signifikan pada awal skenario berat sebagaimana terlihat dari lonjakan CPU di awal pengujian pada Gambar 5 suhu prosesor meningkat cepat hingga melampaui ambang batas Thermal Design Power (TDP). Sistem kemudian secara otomatis menurunkan frekuensi clock untuk membatasi disipasi panas, yang secara langsung menurunkan persentase *Processor Time* yang direkam oleh *Performance Monitor*. [21] mendokumentasikan bahwa mekanisme *power capping* berbasis hardware pada prosesor modern secara konsisten menurunkan utilisasi CPU terukur pada saat beban komputasi mencapai puncaknya, karena yang diukur adalah *effective utilization* bukan *requested utilization*. Hal ini menjelaskan mengapa rata-rata CPU pada beban berat (16,14%) lebih rendah dari beban sedang: nilai rata-rata tersebut sudah mencakup periode throttling pasca lonjakan awal.

Hipotesis 3: Karakteristik *Burst Load* yang Tidak Berkelanjutan

Analisis pola temporal pada Gambar 5 menunjukkan bahwa kondisi beban berat ditandai oleh lonjakan utilisasi CPU yang tajam di awal pengujian, diikuti oleh penurunan dan stabilisasi pada level yang lebih rendah. Pola ini secara definitif mengkarakterisasi *burst workload* beban kerja dengan sifat transient yang hanya membutuhkan sumber daya CPU intensif selama fase inisialisasi, setelah itu proses beralih ke fase *steady-state* dengan kebutuhan CPU yang jauh lebih rendah. Fan, [22] menegaskan bahwa *peak utilization* dan *average utilization* pada *burst workload* berbeda secara substansial, dan bahwa rata-rata statistik yang dihitung dari seluruh durasi pengujian akan merendahkan representasi beban puncak. Dalam penelitian ini, pengukuran rata-rata selama 30 menit mencakup fase aktif dan fase *idle post-burst* secara bersamaan, sehingga menghasilkan rata-rata CPU kondisi berat yang tidak merepresentasikan intensitas puncak beban kerja tersebut.

Hipotesis 4: Manajemen Daya Adaptif oleh Sistem Operasi

Windows 11 dalam *mode Balanced* mengimplementasikan ACPI (Advanced Configuration and Power Interface) P-State dan C-State management yang secara dinamis menyesuaikan frekuensi dan tegangan prosesor berdasarkan permintaan beban aktual. [17] menunjukkan bahwa pada *mode balanced power plan*, OS menerapkan algoritma *demand-response scaling* yang cenderung membatasi clock speed prosesor bahkan ketika beban kerja tinggi, untuk menjaga keseimbangan antara performa dan konsumsi daya.[23]

lebih lanjut membuktikan bahwa pada sistem dengan governor berbasis utilisasi, terdapat hysteresis effect di mana respons frekuensi terhadap lonjakan beban memiliki lag temporal, sehingga utilisasi CPU yang terukur tidak selalu mencerminkan permintaan beban instantaneus. Dalam penelitian ini, *mode Balanced* secara aktif menekan potensi peningkatan utilisasi CPU pada kondisi beban berat melalui pembatasan P-State maksimum.

Hipotesis 5: Non-Linearitas Hubungan CPU–Daya pada Rentang Utilisasi Rendah

Model linear yang digunakan dalam penelitian ini (Persamaan 3) mengasumsikan hubungan proporsional antara utilisasi CPU dan konsumsi daya. Namun, [24] secara eksperimental membuktikan bahwa hubungan CPU–daya bersifat non-linear secara inheren: pada rentang utilisasi 0–30%, kontribusi komponen non-CPU (chipset, memori, layar, storage NVMe, GPU dalam kondisi *idle*) mendominasi konsumsi daya total sistem. Von Kistowski (2016) mengkuantifikasi bahwa pada utilisasi CPU di bawah 30%, daya *idle* komponen sekunder dapat mencapai 60–70% dari total konsumsi sistem, sehingga variasi utilisasi CPU yang kecil seperti selisih 1,5% antara beban sedang (17,64%) dan berat (16,14%) dalam penelitian ini menghasilkan perbedaan daya total yang tidak proporsional. Fenomena ini menjelaskan mengapa estimasi daya beban berat (23,88 W) hanya berbeda 0,82 W dari beban sedang (24,70 W), alih-alih berbeda lebih besar.

Sintesis: Implikasi terhadap Interpretasi dan Validitas Hasil Penelitian

Kelima mekanisme di atas GPU *offloading*, *thermal throttling*, *burst workload dynamics*, OS *power management*, dan non-linearitas CPU daya bekerja secara sinergis menghasilkan fenomena di mana utilisasi CPU dan konsumsi daya kondisi berat lebih rendah dari kondisi sedang. Penting untuk ditegaskan bahwa temuan ini bukan artefak metodologis, melainkan mencerminkan perilaku nyata sistem komputasi heterogen modern yang dioperasikan dalam *mode balanced*. Implikasi kritis terhadap penelitian ini adalah bahwa utilisasi CPU sebagai proksi tunggal untuk konsumsi energi memiliki keterbatasan fundamental pada perangkat dengan arsitektur GPU diskrit dan mekanisme manajemen daya adaptif. [25] menegaskan bahwa pada sistem dengan heterogeneous resource pool, model energi berbasis satu komponen tunggal secara sistematis menghasilkan estimasi yang tidak representatif. Oleh karena itu, meskipun model linear dalam penelitian ini bersifat estimatif dan tidak dimaksudkan sebagai pengukuran absolut, temuan non-linearitas yang diperoleh justru memperkuat validitas ekologis penelitian ini: kondisi operasional nyata laptop gaming bersifat jauh lebih kompleks dari asumsi linear, dan kompleksitas tersebut berimplikasi langsung terhadap strategi manajemen energi dalam konteks *green computing*.

5. Kesimpulan

5.1 Simpulan

Penelitian ini berhasil menganalisis hubungan antara variasi beban kerja, penggunaan CPU, dan estimasi konsumsi daya pada perangkat laptop gaming dalam kerangka konsep *green computing*. Berdasarkan hasil pengujian eksperimen pada tiga skenario beban kerja, diperoleh temuan bahwa terdapat hubungan positif antara peningkatan utilisasi CPU dan konsumsi energi, namun hubungan tersebut tidak sepenuhnya bersifat linear.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi beban sedang menghasilkan tingkat penggunaan CPU dan konsumsi daya tertinggi dibandingkan kondisi beban berat. Hal ini mengindikasikan bahwa kompleksitas beban kerja tidak selalu berbanding lurus dengan pemanfaatan sumber daya CPU maupun konsumsi energi. Temuan ini menunjukkan adanya peran faktor lain, seperti karakteristik *workload*, distribusi beban ke komponen lain seperti GPU, serta mekanisme manajemen daya sistem yang mempengaruhi efisiensi energi.

Selain itu, nilai variabilitas penggunaan CPU yang relatif tinggi menunjukkan bahwa sistem memiliki karakteristik dinamis dalam merespons perubahan beban kerja. Hal ini memperkuat bahwa konsumsi energi pada perangkat komputasi tidak hanya dipengaruhi oleh tingkat aktivitas, tetapi juga oleh pola eksekusi proses yang berlangsung.

Dalam konteks *green computing*, hasil penelitian ini menegaskan bahwa efisiensi energi tidak hanya ditentukan oleh tingkat beban kerja, tetapi juga oleh pengelolaan sumber daya yang optimal. Dengan demikian, penggunaan CPU dapat digunakan sebagai indikator estimasi konsumsi daya, namun tidak dapat merepresentasikan konsumsi energi secara absolut karena dipengaruhi oleh berbagai faktor sistem yang kompleks.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada metode estimasi konsumsi daya yang menggunakan pendekatan model linear berbasis utilisasi CPU tanpa pengukuran langsung menggunakan perangkat *power meter*. Pendekatan ini bersifat estimatif dan tidak sepenuhnya mampu menangkap kontribusi komponen lain seperti GPU, memori, serta dinamika manajemen daya sistem.

Meskipun demikian, model ini tetap relevan untuk menggambarkan kecenderungan hubungan antara beban kerja dan konsumsi energi secara umum. Berdasarkan literatur, model estimasi berbasis utilisasi CPU dapat memberikan pendekatan awal dengan tingkat akurasi yang moderat, namun hasil yang diperoleh perlu diinterpretasikan sebagai estimasi, bukan sebagai nilai konsumsi daya absolut.

Namun demikian, pendekatan ini tetap relevan dalam konteks penelitian ini karena tujuan utama adalah untuk

menganalisis pola relatif perubahan konsumsi energi terhadap variasi beban kerja, bukan untuk melakukan pengukuran daya secara presisi absolut.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan metode pengukuran konsumsi daya secara langsung menggunakan perangkat *power meter* guna meningkatkan akurasi hasil penelitian. Selain itu, analisis dapat diperluas dengan mempertimbangkan kontribusi komponen lain seperti GPU, RAM, dan sistem penyimpanan, sehingga diperoleh model konsumsi energi yang lebih komprehensif.

Pengembangan model analisis yang lebih lanjut, seperti regresi multivariat atau analisis korelasi berbasis data *time-series*, juga disarankan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antar variabel. Selain itu, penelitian dapat diperluas dengan menggunakan berbagai jenis perangkat dan spesifikasi yang berbeda untuk meningkatkan generalisasi hasil.

Dalam konteks penerapan *green computing*, penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengembangan strategi optimasi penggunaan energi berbasis manajemen beban kerja secara adaptif. Implementasi strategi tersebut, baik pada level sistem operasi maupun aplikasi, berpotensi memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi energi pada perangkat komputasi modern.

Daftar Rujukan

- [1] A. Amiruddin, S. Suryahadi, and S. M. Arifin, "Analysis of the Impact of Charging When Used on Laptop Battery Performance and Stability," *J. Tek. Elektro*, vol. 16, no. 1, pp. 45–52, 2024.
- [2] M. H. Kirkeby, "Power Assumptions Matter : Evaluating End-user Laptop Energy Models for Sustainability Reporting of Browser-Based Web Services," no. 2102, pp. 1–8, 2026.
- [3] M. Q. Ansari and M. Q. Ansari, "Racing to Idle: Energy Efficiency of Matrix Multiplication on Heterogeneous CPU and GPU Architectures," pp. 1–17, 2025.
- [4] B. Prieto, J. J. Escobar, J. C. Gómez-López, A. F. Díaz, and T. Lampert, "Energy Efficiency of Personal Computers: A Comparative Analysis," 2022. doi: 10.3390/su141912829.
- [5] J. P. D. Comput, A. Shahid, M. Fahad, R. R. Manumachu, and A. Lastovetsky, "Improving the accuracy of energy predictive models for multicore CPUs by combining utilization and performance events model variables ☆," *J. Parallel Distrib. Comput.*, vol. 151, pp. 38–51,

- 2021, doi: 10.1016/j.jpdc.2021.01.007.
- [6] B. Kocot, P. Czarnul, and J. Proficz, "Energy-Aware Scheduling for High-Performance Computing Systems: A Survey," 2023. doi: 10.3390/en16020890.
- [7] G. Raffin, D. Trystram, and G. Inp, "Dissecting the software-based measurement of CPU energy consumption : a comparative analysis," pp. 1–15.
- [8] J. S. Parker, "Can analytics software measure end user computing electricity consumption?," *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 24, no. 8, pp. 2441–2458, 2022, doi: 10.1007/s10098-022-02325-x.
- [9] M. Jay, V. Ostapenko, L. Lefevre, and D. Trystram, "An experimental comparison of software-based power meters : focus on CPU and GPU".
- [10] N. Qosidah, "Systematic Literature Review: Energy Metrics, Trade-Offs, and Best Practices in Green IT and Green Software," *JUISI J. Ilm. Sist. Inf.*, vol. 4, no. 1, pp. 58–69, 2025.
- [11] S. U. Lee, N. Fernando, K. Lee, and J.-G. Schneider, "A survey of energy concerns for software engineering," *J. Syst. Softw.*, vol. 210, p. 111944, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2023.111944>.
- [12] J. Malmodin, "Just measure IT! - Electricity consumption measurements of electronic devices and estimates of datacenter and network services for one household," in *2023 International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S)*, 2023, pp. 35–45. doi: 10.1109/ICT4S58814.2023.00013.
- [13] D. Guamán, J. Pérez, and P. Valdiviezo, "Estimating the energy consumption of model - view - controller applications," *J. Supercomput.*, vol. 79, no. 12, pp. 13766–13793, 2023, doi: 10.1007/s11227-023-05202-6.
- [14] B. W. Ford and Z. Zong, "A cost effective framework for analyzing cross-platform software energy efficiency," *Sustain. Comput. Informatics Syst.*, vol. 35, p. 100661, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100661>.
- [15] H. A. Niaz and R. R. Manumachu, "Accurate and Reliable Energy Measurement and Modelling of Data Transfer Between CPU and GPU in Parallel Applications on Heterogeneous Hybrid Platforms," *IEEE Trans. Comput.*, vol. 74, no. 3, pp. 1011–1024, 2025, doi: 10.1109/TC.2024.3504262.
- [16] F. S. Alqurashi and M. Al-Hashimi, "An Experimental Approach to Estimation of the Energy Cost of Dynamic Branch Prediction in an Intel High-Performance Processor," 2023. doi: 10.3390/computers12070139.
- [17] W. Dargie, "A stochastic model for estimating the power consumption of a processor," *IEEE Trans. Comput.*, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6783802>
- [18] J. von Kistowski, "Variations in CPU power consumption," in *Proceedings of the ACM*, [Online]. Available: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2851553.2851567>
- [19] L. B. Desroches, "Computer usage and national energy consumption." [Online]. Available: <https://escholarship.org/content/qt5k12d7q0/qt5k12d7q0.pdf>
- [20] A. Carroll and G. Heiser, "An analysis of power consumption in a smartphone," in *USENIX Annual Technical Conference*, p. 21.
- [21] W. L. Bircher and L. K. John, "Complete System Power Estimation Using Processor Performance Events," *IEEE Trans. Comput.*, vol. 61, no. 4, pp. 563–577.
- [22] X. Fan, W. D. Weber, and L. A. Barroso, "Power Provisioning for a Warehouse-Sized Computer," *ACM SIGARCH Comput. Archit. News*, vol. 35, no. 2, pp. 13–23.
- [23] S. Rivoire, M. A. Shah, P. Ranganathan, and C. Kozyrakis, "A Comparison of High-Level Full-System Power Models," in *Proceedings of HotPower*, pp. 1–10.
- [24] J. Kistowski, H. Block, and M. T. Beck, "Analysis of the influences on server power consumption and energy efficiency for CPU-intensive workloads," in *Proceedings of ICPE*, pp. 223–234.
- [25] A. Beloglazov and R. Buyya, "Energy efficient resource management in virtualized cloud data centers," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 28, no. 5, pp. 755–768.