



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 3 Tahun 2025 Page 8555-8578

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Analisis Data Operasional Chiller Plant Dan Simulasi Control On/Off Logic

I Gusti Ngurah Putu Abhirama Widyadhana<sup>1✉</sup>, Suraidi<sup>2</sup>

Teknik, Universitas Tarumanagara

Email: [igust.525220005@stu.untar.ac.id](mailto:igust.525220005@stu.untar.ac.id)<sup>1✉</sup>

### Abstrak

Sistem VAC (Ventilation, and Air Conditioning) merupakan komponen utama dalam konsumsi energi bangunan komersial modern. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis data operasional chiller plant di West Mall Grand Indonesia selama periode Februari hingga April 2025 guna mengevaluasi efisiensi energi dan potensi penghematan. Data yang digunakan mencakup parameter suhu, tekanan, arus, dan konsumsi daya listrik harian, serta jumlah pengunjung harian mall. Estimasi beban pendinginan dihitung berdasarkan pengunjung menggunakan pendekatan internal heat gain sebesar 750 BTU per orang. Analisis dilakukan dengan membandingkan performa sistem di hari kerja dan hari libur, serta menyusun model simulasi kontrol energi berbasis logika sederhana untuk menilai strategi penghematan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa strategi pengendalian beban berdasarkan waktu operasional dan kepadatan pengunjung berpotensi mengurangi konsumsi energi secara signifikan, terutama di hari libur. Studi ini memberikan dasar bagi implementasi kontrol VAC yang lebih efisien dan berbasis data untuk mendukung konservasi energi di sektor bangunan komersial.

Kata Kunci: *Chiller Plant, VAC, Efisiensi Energi, Beban Pendingin, Simulasi Kontrol, Penghematan Energi*

## Abstract

The VAC (Ventilation, and Air Conditioning) system is a major contributor to energy consumption in modern commercial buildings. This study aims to analyze the operational data of the chiller plant located in the West Mall of Grand Indonesia during the period of March to May 2025 to evaluate energy efficiency and identify potential savings. The data analyzed includes daily records of temperature, pressure, current, electrical energy consumption, and mall visitor counts. The estimated cooling load is calculated using the internal heat gain approach, assuming 750 BTU per person. The analysis compares chiller performance on weekdays and weekends and constructs a simple rulebased energy control simulation model to assess potential savings strategies. The simulation results show that implementing control strategies based on operational time and visitor density can significantly reduce energy consumption, especially during weekends. This study provides a foundation for the implementation of more efficient and data-driven VAC control systems to support energy conservation in commercial building operations.

*Keyword: Chiller Plant, VAC, Energy Efficiency, Cooling load, Control Simulation, Energy Saving*

## PENDAHULUAN

Di era modern ini, perkembangan teknologi yang berkembang pesat telah menghasilkan infrastruktur bangunan yang semakin kompleks, terutama pada gedung-gedung besar dan bertingkat. Dalam banyak kasus, sistem Ventilation and Air Conditioning (VAC) memegang peranan penting dalam kenyamanan penghuninya, menjaga kualitas udara, dan mendukung produktivitas di dalam ruang kerja (Jyoti Lect & Devi Arya Mahila College, 2021). Namun, keberadaan sistem VAC juga sering kali berimplikasi pada penyebab konsumsi energi yang sangat besar, sehingga menjadi salah satu penyebab utama dalam tingginya tagihan listrik. Dalam konteks perubahan iklim yang semakin mendesak, efisiensi energi bukan hanya menjadi sebuah pilihan, tetapi sebuah kebutuhan yang mendesak (Hidayat et al., 2020). Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan dalam bidang pengelolaan dan optimasi sistem VAC sangat penting untuk mengurangi dampak buruk tersebut.

Sistem VAC yang tidak dioptimalkan dapat berakibat pada pemborosan energi yang tidak perlu. Di sinilah letak urgensi untuk melakukan analisis data operasional Chiller Plant dan simulasi beban pendingin berbasis jumlah pengunjung. Strategi penggunaan system VAC yang lebih baik seperti ventilasi yang dikendalikan permintaan (demand response) (Arinda et al., 2024). Hasil menunjukkan bahwa langkah tersebut berdampak positif terhadap ekonomi dan lingkungan, berupa pengurangan substansial dalam konsumsi energi, biaya operasi, dan penggunaan energi permintaan puncak. inovasi dalam sistem VAC diperlukan untuk menyediakan lingkungan binaan yang luar biasa, sehat, produktif,

dan berkelanjutan bagi penghuninya sekaligus mengurangi konsumsi dan biaya energy (Asim et al., 2022).

Melalui pendekatan analisis yang sistematis, parameter-parameter yang mempengaruhi efisiensi sistem VAC dapat diidentifikasi dan dioptimalkan (Kim, 2022). Ini mencakup analisis gaya operasional dari chiller yang digunakan, pengaturan suhu, kelembapan, yang relevan dengan kebutuhan ruang. Melihat dari sisi teknis, optimalisasi sistem kontrol VAC juga mencakup penggunaan perangkat lunak dan algoritma yang dapat memproses dan menganalisis berbagai data secara efisien. Dalam hal ini, pemanfaatan teknologi seperti Python dan Microsoft Excel untuk pengolahan data menjadi hal yang menarik untuk diteliti. Kedua alat ini memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing, dan perbandingan antara keduanya dapat memberikan wawasan yang berharga bagi para teknisi dan pengelola gedung.

VAC menyumbang hampir 40% dari total konsumsi energi di gedung-gedung komersial, yang telah mendorong para peneliti dan teknisi untuk mengeksplorasi teknik manajemen yang lebih efisien. Kebutuhan akan konservasi energi, ditambah dengan meningkatnya regulasi lingkungan, semakin menekankan pentingnya mengoptimalkan sistem VAC untuk efisiensi dan keandalan (Islam & Shofiullah, 2024). Selain itu, hasil dari penelitian ini tidak hanya akan bermanfaat bagi perusahaan yang mengelola gedung, tetapi juga dapat memberikan kontribusi terhadap praktik berkelanjutan dalam industri bangunan (Falah et al., 2024).

Dalam membuat kendaraan atau platform untuk analisis ini, salah satu langkah penting adalah mengumpulkan dan menganalisis data kinerja dari sistem VAC yang sudah ada. Data yang dikumpulkan perlu mencakup metrik kunci seperti efisiensi penggunaan energi, waktu, jumlah pengunjung. Dengan cara ini, analisis dapat dilakukan untuk mendeteksi minus dan kelemahan yang harus diperbaiki (Zainuddin, 2014). Berdasarkan analisis yang mendalam tentang sistem VAC dan pengumpulan data, selanjutnya dilakukan pemodelan dan simulasi untuk mengevaluasi efek dari berbagai pengaturan dan optimasi yang dapat diterapkan. Dengan pendekatan ini, diharapkan akan ditemukan solusi inovatif yang tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga meningkatkan kenyamanan pengguna ruang.

## Tujuan

Tujuan laporan ini adalah melakukan analisis data *Chiller Plant* selama periode Februari hingga April 2025 berdasarkan laporan harian tim *engineering*. penggunaan sumber daya komputer pada *Python* dan *Microsoft Excel* dalam melakukan pengolahan dan visualisasi

data. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan informasi kinerja *Chiller Plant* dengan menggunakan *Python* dan *Microsoft Excel* dalam pengolahan dan visualisasi data.

### Batasan Topik

Topik penelitian ini berfokus pada:

1. Menganalisis operasional *Chiller Plant West Mall* (tekanan, suhu, arus, dan daya) selama periode Februari hingga April 2025 berdasarkan laporan harian tim *engineering*.
2. Membandingkan performa *Chiller Plant West Mall* antara hari kerja dan libur untuk mengetahui perbedaan beban pendinginan dan konsumsi energi.
3. Menghitung estimasi konsumsi energi listrik chiller pada masing-masing hari dalam seminggu (*weekday vs weekend*).
4. Mengidentifikasi potensi inefisiensi operasional, khususnya pada hari libur, sistem masih berjalan dengan daya penuh meskipun beban pendingin menurun.
5. Lingkup analisis hanya mencakup system *Chiller Plant* di area *West Mall Grand Indonesia*, dan tidak membahas sistem *Chiller* di area *East Mall*.
6. Model simulasi disusun berbasis logika sederhana, dan tidak melibatkan perangkat kontrol fisik seperti *PLC* atau *sensor real-time*.
7. Pengolahan dan visualisasi data menggunakan laptop dengan *processor AMD Ryzen 9 5900HX with Radeon Graphics @ 3.30 GHz, RAM 16.0 GB, dan sistem operasi Windows 11 64 bit*

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dengan Simulasi yang dilakukan dengan menggunakan sumber daya *Microsoft Excel* dan pemrograman *Python* pada *platform Jupyter Notebook*. Logika kontrol yang digunakan bersifat deterministik dan berbasis aturan (*rule-based*), dimana pengoperasian sistem *VAC* dalam hal ini mengarah pada chiller ditentukan oleh kondisi suhu, jam operasional, dan jumlah pengunjung. Data pengunjung digunakan sebagai parameter untuk beban panas internal. Setelah status *ON/OFF* ditentukan. Konsumsi energi disimulasikan berdasarkan status tersebut. Hasil dari simulasi akan menunjukkan estimasi konsumsi energi yang dibandingkan antara skenario untuk mengidentifikasi strategi penghematan yang paling efisien.

### Sumber dan Jenis Data

Data yang digunakan terdiri dari:

1. Data operasional harian *Chiller Plant West Mall* dengan parameter yang di ambil untuk

- Waktu, suhu, arus, *ambient temperature* dan daya listrik.
2. data jumlah pengunjung harian dan bulanan *Grand Indonesia*.
  3. Data waktu oprasional *Chiller Plant* di *weekday* dan *weekend*.
  4. Dokumentasi lapangan berupa laporan teknisi yang memantau chiller plant dengan hasil laporan harian *Daily Report Chiller Plant*.

#### Aspek yang dianalisis

Laporan magang ini menganalisis aspek – aspek utama, antara lain:

1. Hasil konsumsi energi harian dan tiap jam
  - a. Menghitung total konsumsi energi harian dari sistem chiller.
  - b. Membuat grafik konsumsi energi perjam untuk melihat beban puncak.
2. Perbandingan konsumsi energi *weekday* dan *weekend*
  - a. Mengelompokan data berdasarkan jenis hari (*weekday/weekend*).
  - b. Menganalisis perbedaan konsumsi energi pada dua kondisi tersebut.
3. Simulasi logika penghematan energi
  - a. Perbandingan skenario untuk sistem *ON* penuh, *ON* hanya saat suhu  $> 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , *system OFF* di hari libur, mengukur berapa energi yang dapat dilakukan penghemat pada setiap skenario

#### Prosedur Penelitian

Pada tahap ini, peneliti membagikan link Google Form yang berisi kuesioner melalui platform media sosial kepada calon partisipan seperti keluarga, teman, serta siapapun individu yang memenuhi kriteria dari peneliti. Link Google Form berisi kata pengantar, informed consent, identitas diri partisipan, dan kuisisioner yang telah dipersiapkan peneliti sesuai skala ukur yang digunakan.

#### Pengolahan Data

Data yang diolah berupa file Microsoft Excel dengan format *\*ipynb*. Yang berisi data nilai parameter *chiller plant* yang diperlukan yang dikumpulkan selama periode Februari hingga April 2025. Nilai parameter *Chiller Plant* dapat hanya dicatat pada jam tertentu saja dalam satu hari, namun perlu dicatat dalam akumulasi secara harian. Maka dari itu nilai parameter *Chiller Plant* yang berasal dari *log sheet* asli *Daily Report Chiller Plant West mall Grand Indonesia* hanya di ambil beberapa aspek Tanggal dan Jam Oprasional untuk menandai waktu, aspek suhu air masuk dan keluar pada *chiller* untuk digunakan melihat delta suhu pendinginan agar bisa diestimasi untuk beban pendingin aktual, aspek tekanan (*Pressure*) pada sistem *Evaporator* dan *Condenser* untuk analisis stabilitas kerja *chiller*, aspek

arus listrik pompa atau kompressor dalam *Ampere (A)* dan digunakan untuk perhitungan estimasi daya Listrik dalam *kilowatt (kW)* dengan rumus  $P = V \times I \times PF$  Dimana P adalah daya aktif dalam *watt (W)*, V adalah tegangan efektif dalam *Volt*, I adalah arus efektif rata rata dalam *ampere (A)*, dan PF adalah faktor daya yang menunjukkan efisiensi penggunaan (Makruf et al., 2020), [10], (Zulkarnaini et al., 2024). Aspek Jumlah unit chiller yang aktif serta catatan khusus / gangguan. Dan data di olah dengan analisis konsumsi energi berdasarkan status operasional *Chiller*, penelitian ini juga mempertimbangkan beberapa parameter teknis tambahan untuk memperkaya kajian efisiensi sistem VAC. Parameter tersebut meliputi nilai *Coefficient of Performance (COP)*, *flow rate chilled water*, daya listrik tercatat (*kWh*), serta integrasi data jumlah pengunjung terhadap estimasi beban pendinginan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Data Per Bulan dan Chiller

Data yang digunakan merupakan hasil pemantauan *Buildingautomation system (BAS)* untuk tiap Chiller dan tiap bulan nya. File Excel (*Bulan*) *Chiller (NO) Summary.xlsx*, merupakan format nama dan table excel yang sudah bisa terbaca otomatis dan dirapihkan otomatis oleh kode, yang berisi informasi harian meliputi waktu operasional, beban pendingin bersatuan *Ton Refrigerant (TR)*, konsumsi daya listrik dengan satuan kilowatt (*kW*), suhu air masuk dan keluar *evaporator* serta *condenser*, dan suhu lingkungan sekitar atau ambient temp. setelah dilakukan pra-pemrosesan, data difokuskan hanya pada 28 hari pertama selama bulan yang dicantumkan dalam nama file. Tanggal otomatis dihasilkan dari nama file sehingga apa bila file bilan diganti maka sistem akan menyesuaikan secara otomatis. Durasi kerja *Chiller* dihitung berdasarkan selisih antara waktu jam *ON* dan jam *OFF* setiap harinya. Nilai waktu dikonversikan ke format datetime dan selisihnya dihitung dalam satuan jam. Namun disini durasi operasi harian sangat bervariasi tergantung kebutuhan beban pendingin dan hari dengan nilai yang tidak ada saat *BAS ERROR*, *SENSOR ERROR*, dan *SYSTEM DOWN* akan otomatis dimasukan dengan keterangan *NaN* atau *NaN*.

### Hubungan COP terhadap Suhu Sekitar

Analisis regresi linier dilakukan untuk mengetahui hubungan antara suhu lingkungan dan *COP*, dengan menggunakan persamaan  $COP = \alpha \times \text{Suhu} + b$ . Dimana *COP* adalah hasil perhitungan sebelumnya di atas,  $\alpha$  sebagai gradien atau laju perubahannya dengan menggambarkan berapa besar perubahan *COP* untuk setiap kenaikan 1 °C *COP* akan berkurang 0.086 unit, suhu untuk menggambarkan *ambient temperature*, dan b dengan nilai 3.054 adalah intersep / konstanta *COP* saat suhu 0 °C (Standar Nasional Indonesia,

2020).

## Grafik COP Harian

*Visualisasi Coefficient of Performance (COP)* harian dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi kerja masing-masing unit chiller secara waktu nyata selama periode yang ditentukan yaitu Februari hingga April 2025. Grafik *COP* disusun menggunakan pendekatan analisis deret waktu (time series analysis) untuk menunjukkan fluktuasi performa harian dari sistem pendinginan *Chiller Plant West Mall Grand Indonesia*. Pemrograman visualisasi dilakukan dengan menggunakan pustaka *matplotlib* pada *Python*. Grafik ini menggambarkan nilai *COP* terhadap tanggal (sumbu X) dengan nilai *COP* sebagai sumbu Y. Setiap titik pada Grafik pada grafik mewakili nilai *COP* harian, yang dihitung berdasarkan rumus ratio antara beban pendinginan aktual (TR) terhadap konsumsi daya listrik (kW) dikalikan dengan faktor konversi 3.517 sesuai standar ASHRAE. Konsumsi Energi Harian (kW)

Grafik konsumsi energi harian dalam *kiloWatt* atau (*kw*) menggunakan metode statistik analisis deret waktu atau *time series analysis*, grafik ini menunjukkan berapa besar energi yang dikonsumsi setiap harinya oleh *Chiller*, hasil visualisasi terdapat hari-hari dengan konsumsi *kW* tinggi, dikarenakan berkorelasi dengan *TR* besar dan durasi kerja yang panjang, dan hari tanpa konsumsi energi sudah ditambahkan note bahwa *Chiller* tidak aktif atau data tidak ada. Visualisasi ini disusun menggunakan pustaka *matplotlib* dengan grafik menampilkan tanggal pada sumbu X dan konsumsi energi listrik pada sumbu Y.

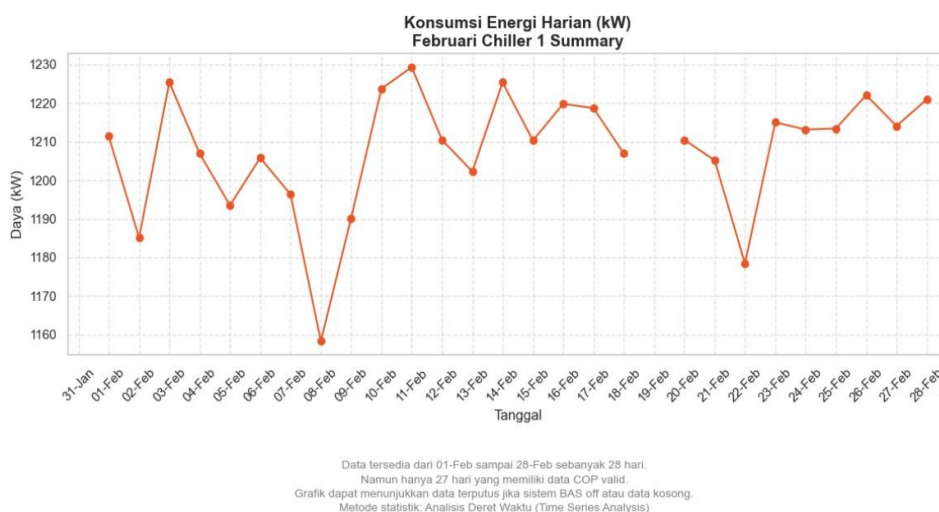
Gambar 34 Alur Program Grafik Konsumsi Energi Harian

```
# ===== [ 12. GRAFIK KONSUMSI ENERGI (kW) PER HARI ] =====
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.plot(df['Tanggal'], df['kW'], marker='o', linestyle='-', color='orangered')
plt.title(f"Konsumsi Energi Harian (kW)\n{judul_file}", fontsize=14, weight='bold')
plt.xlabel("Tanggal", fontsize=12)
plt.ylabel("Daya (kW)", fontsize=12)
plt.xticks(rotation=45)
plt.gca().xaxis.set_major_locator(mdates.DayLocator(interval=1))
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%d-%b'))
plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
plt.tight_layout(rect=[0, 0.16, 1, 1])
plt.gcf().text(0.5, 0.02, note_grafik + "\n" + note_metode_ts, ha='center', fontsize=10, color='gray', linespacing=1.4)
plt.show()
```

Potongan kode ini digunakan untuk menghasilkan grafik konsumsi energi harian (kW) dari data chiller menggunakan pendekatan *Analisis Deret Waktu*. Dengan `plt.plot()`, grafik menampilkan nilai daya listrik ('kW') terhadap tanggal ('Tanggal') dalam format garis putus-putus berwarna jingga kemerahan (*orangered*), dilengkapi titik marker. Judul grafik diatur secara dinamis mengikuti nama file yang dianalisis (`judul_file`), dengan label sumbu-x "Tanggal" dan sumbu-y "Daya (kW)". Format tanggal dibuat agar terbaca per hari dengan

rotasi 45 derajat menggunakan `mdates.DayLocator()` dan `DateFormatter('%d-%b')`. Grafik juga dilengkapi *grid*, pengaturan tata letak yang rapi dengan `tight_layout()`, serta catatan penjelas metode di bagian bawah grafik menggunakan `plt.gcf().text()`. Tujuan utama grafik ini adalah untuk memvisualisasikan pola konsumsi energi harian chiller, membantu mengidentifikasi tren penggunaan listrik, dan mendeteksi anomali konsumsi daya yang dapat dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan efisiensi energi.

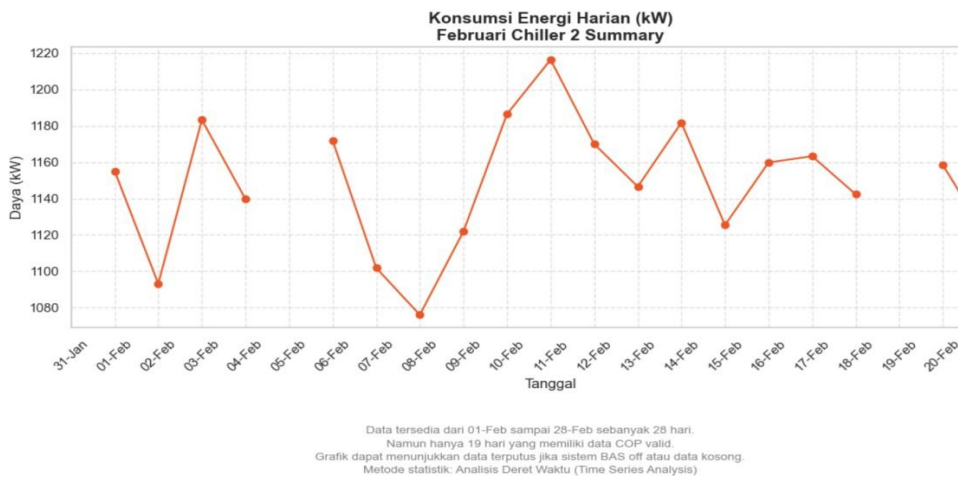
Gambar 35 Grafik Februari Grafiik Konsumsi Energi Harian Chiller 1



Grafik ini menampilkan konsumsi energi harian (kW) pada unit Februari Chiller 1 selama periode 1 hingga 28 Februari, menggunakan metode *Analisis Deret Waktu*. Setiap titik dan garis oranye menunjukkan jumlah daya listrik yang digunakan oleh chiller per hari. Secara umum, konsumsi energi berada pada kisaran 1190 hingga 1230 kW, dengan fluktuasi yang cukup tajam pada beberapa hari, seperti penurunan signifikan di tanggal 8 dan 21 Februari. Dari total 28 hari, sebanyak 27 hari memiliki data yang valid, sementara satu hari kosong kemungkinan disebabkan oleh sistem *BAS* yang tidak aktif atau gangguan pencatatan.

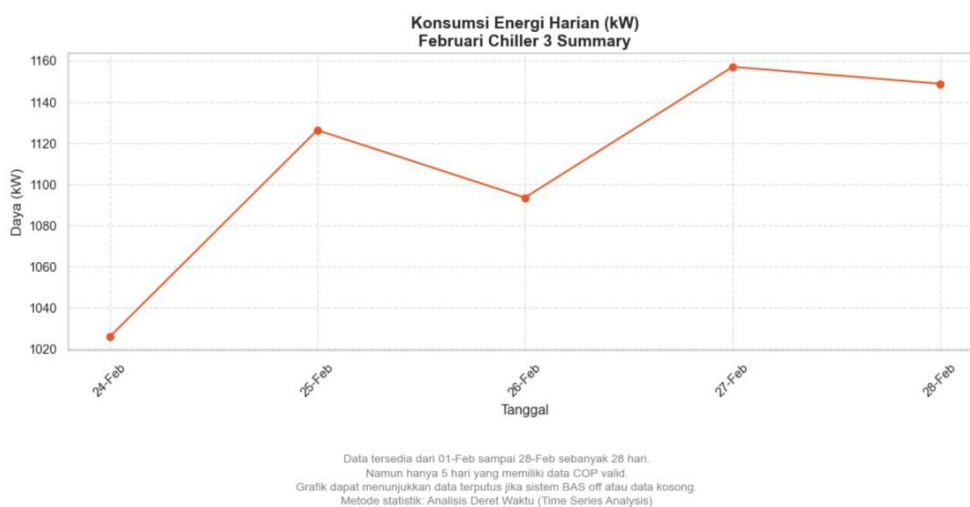
Grafik ini membantu mengidentifikasi pola pemakaian listrik harian dan mendeteksi hari-hari dengan konsumsi yang tidak normal, yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi operasional dan efisiensi energi chiller.

Gambar 4.36 Grafik Februari Grafiik Konsumsi Energi Harian Chiller 2



Grafik ini menunjukkan konsumsi energi harian (kW) pada unit Februari Chiller 2 selama periode 1 hingga 28 Februari menggunakan pendekatan *Analisis Deret Waktu*. Setiap titik dan garis berwarna jingga menggambarkan besarnya daya listrik yang digunakan chiller setiap harinya. Nilai konsumsi energi bervariasi antara sekitar 1080 hingga 1210 kW, dengan fluktuasi tajam terutama pada tanggal 8 dan 11 Februari. Terdapat beberapa hari tanpa data yang menciptakan celah pada grafik, mengindikasikan hanya 19 hari dengan data COP yang valid dari total 28 hari. Hal ini dapat disebabkan oleh sistem *BAS* yang tidak aktif atau chiller yang tidak beroperasi. Grafik ini berguna untuk meninjau efisiensi pemakaian energi, mendeteksi hari-hari dengan konsumsi tidak normal, serta sebagai bahan evaluasi teknis dalam pengelolaan operasional dan energi pada sistem pendingin.

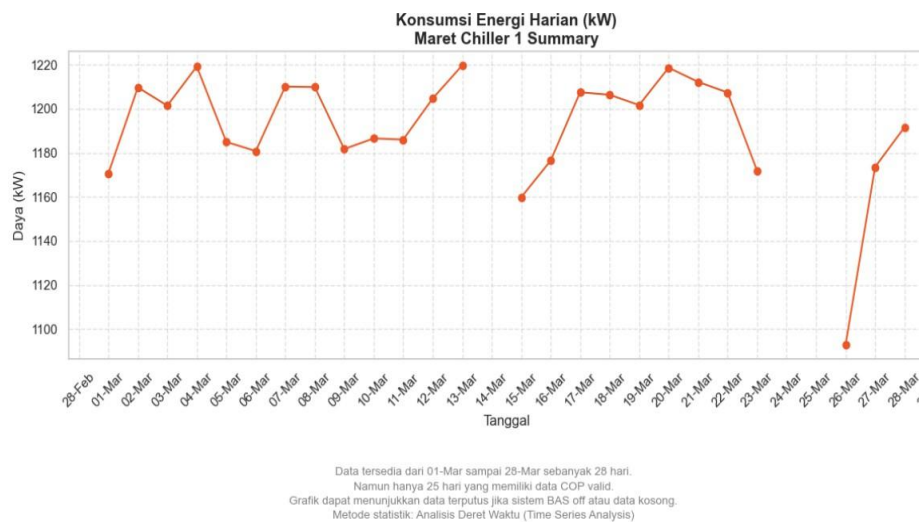
Gambar 37 Grafik Februari Grafik Konsumsi Energi Harian Chiller 3



Grafik ini memperlihatkan konsumsi energi harian (kW) pada unit Februari Chiller

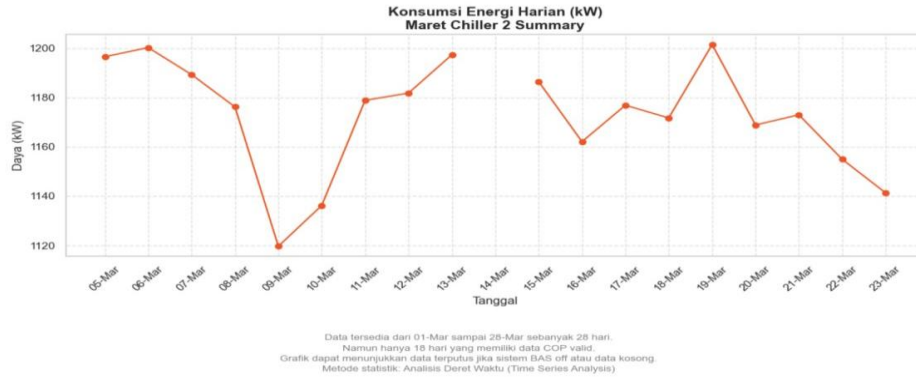
3 menggunakan metode *Analisis Deret Waktu*. Data yang ditampilkan sangat terbatas, hanya mencakup 5 hari dari total 28 hari dalam bulan Februari, yaitu di akhir bulan. Nilai konsumsi energi berada dalam rentang sekitar 1030 hingga 1160 kW, dengan tren yang menunjukkan peningkatan di awal, penurunan ringan, lalu kembali naik menjelang akhir bulan. Terbatasnya jumlah data kemungkinan besar disebabkan oleh unit yang jarang beroperasi atau sistem pencatatan (BAS) yang tidak aktif pada sebagian besar hari. Meskipun grafik memberikan gambaran awal mengenai besarnya konsumsi energi saat unit beroperasi, informasi ini belum cukup untuk mengevaluasi performa harian secara menyeluruh dan memerlukan data tambahan untuk analisis yang lebih akurat.

Gambar 38 Grafik Maret Grafik Konsumsi Energi Harian Chiller 1



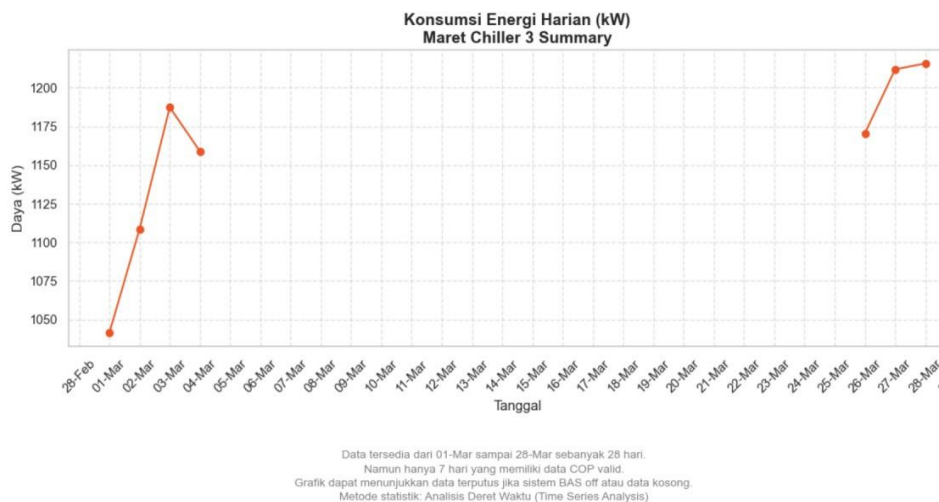
Grafik ini menampilkan konsumsi energi harian (kW) pada unit Maret Chiller 1 selama periode 1–28 Maret, menggunakan metode *Analisis Deret Waktu*. Nilai konsumsi energi harian bervariasi antara sekitar 1100 hingga 1220 kW, dengan pola fluktuatif namun relatif stabil. Dari total 28 hari, terdapat 25 hari dengan data yang valid. Penurunan tajam terlihat pada tanggal 13 dan 25 Maret, kemungkinan disebabkan oleh nonaktifnya unit atau gangguan pencatatan oleh sistem *BAS*. Di luar titik-titik anomali tersebut, konsumsi energi menunjukkan tren yang konsisten dengan sedikit lonjakan pada tanggal 4, 11, dan 20 Maret. Grafik ini berguna untuk mengevaluasi kestabilan pemakaian listrik harian, mendeteksi penyimpangan operasional, serta mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan efisiensi energi sistem pendingin.

Gambar 39 Grafik Maret Grafiik Konsumsi Energi Harian Chiller 2



Grafik ini menampilkan konsumsi energi harian (kW) pada unit Maret Chiller 2 selama periode 1 hingga 28 Maret, menggunakan metode *Analisis Deret Waktu*. Terlihat bahwa konsumsi energi bervariasi antara sekitar 1120 hingga 1200 kW, dengan fluktuasi yang cukup tajam. Dari total 28 hari, hanya 18 hari memiliki data COP yang valid. Grafik menunjukkan penurunan signifikan pada 9 Maret yang menjadi titik terendah, kemudian diikuti pemulihan bertahap hingga mencapai puncak pada 18 Maret. Setelah itu, tren kembali menurun secara bertahap menjelang akhir bulan. Pola ini mengindikasikan kemungkinan adanya gangguan operasional atau perubahan beban pendinginan, serta potensi tidak aktifnya sistem *BAS* pada hari-hari tertentu. Grafik ini berguna untuk mengevaluasi performa penggunaan energi dan mendeteksi hari-hari yang memerlukan perhatian teknis lebih lanjut.

Gambar 40 Grafik Maret Grafiik Konsumsi Energi Harian Chiller 3

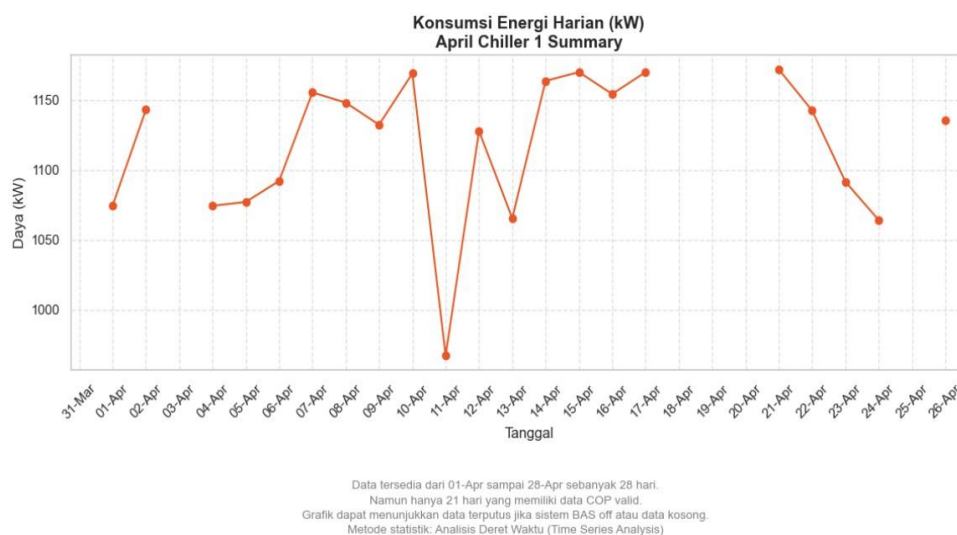


Grafik ini memperlihatkan konsumsi energi harian (kW) pada unit Maret Chiller 3 dengan pendekatan *Analisis Deret Waktu* selama periode 1–28 Maret. Namun, hanya terdapat 7 hari dengan data yang valid, menunjukkan bahwa unit ini jarang beroperasi atau sistem *BAS* tidak aktif untuk sebagian besar waktu.

Data yang tersedia menunjukkan pola konsumsi yang cukup tinggi dan stabil, berkisar antara 1040 hingga 1210 kW, dengan dua kluster aktivitas: awal bulan (1–5 Maret) dan akhir bulan (26–28 Maret).

Terputusnya data pada hampir seluruh pertengahan bulan membuat grafik ini tidak cukup representatif untuk mengevaluasi performa secara penuh. Meskipun begitu, grafik tetap memberikan informasi dasar terkait kapan unit beroperasi dan kisaran daya listrik yang digunakan.

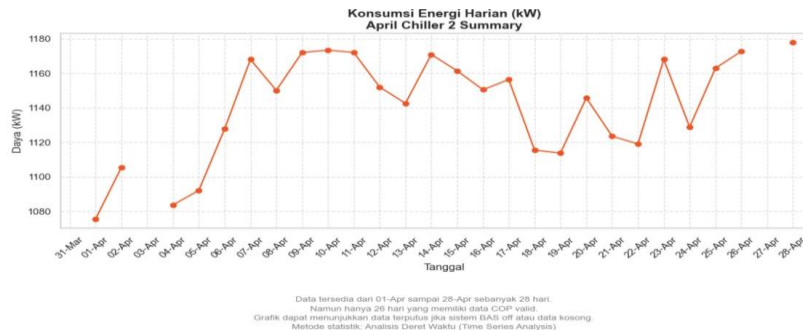
Gambar 41 Grafik April Grafik Konsumsi Energi Harian Chiller 1



Grafik ini menampilkan konsumsi energi harian (kW) pada unit April Chiller 1 selama periode 1 hingga 28 April, berdasarkan *Analisis Deret Waktu*. Dari total 28 hari, terdapat 21 hari dengan data valid, sedangkan sisanya menunjukkan kemungkinan sistem *BAS* nonaktif atau unit tidak beroperasi. Konsumsi energi umumnya berkisar antara 1050 hingga 1160 kW, namun terdapat beberapa anomali mencolok. Misalnya, pada 11 April terlihat penurunan tajam mendekati 1000 kW, dan pada 13 April terjadi lonjakan dari nilai sebelumnya. Secara keseluruhan, tren relatif fluktuatif namun menunjukkan kestabilan di paruh akhir bulan. Grafik ini bermanfaat untuk mendeteksi perubahan beban energi, mengidentifikasi potensi gangguan operasional, serta mengevaluasi efisiensi chiller dalam

konteks pemeliharaan atau pengoptimalan sistem pendingin.

Gambar 42 Grafik April Grafik Konsumsi Energi Harian Chiller 2

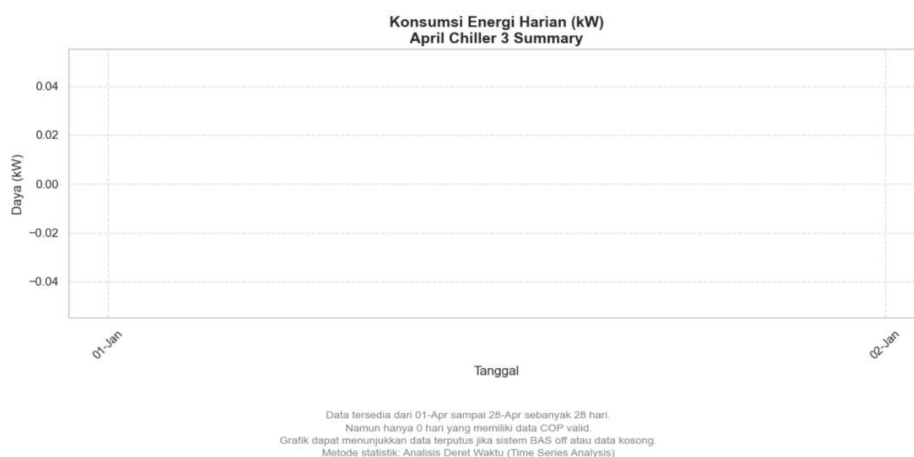


Grafik ini memperlihatkan konsumsi energi harian (kW) pada unit April Chiller 2 selama periode 1 hingga 28 April dengan menggunakan metode *Analisis Deret Waktu*. Dari total 28 hari, terdapat 26 hari dengan data COP yang valid, menunjukkan konsistensi operasional yang baik.

Konsumsi energi menunjukkan pola meningkat tajam mulai 5 April, dengan rentang nilai berkisar antara 1080 hingga 1180 kW. Setelah mencapai titik tertinggi sekitar 8–10 April, grafik menunjukkan fluktuasi yang relatif stabil dengan sedikit penurunan di pertengahan hingga akhir bulan, seperti pada tanggal 21 dan 23 April.

Grafik ini mencerminkan tren konsumsi listrik yang cukup teratur dan dapat dijadikan dasar untuk mengevaluasi performa operasional, mendeteksi anomali beban, serta merencanakan langkah efisiensi energi pada sistem pendingin.

Gambar 43 Grafik April Grafik Konsumsi Energi Harian Chiller 3



Grafik ini menunjukkan bahwa April Chiller 3 tidak memiliki data konsumsi energi harian selama periode 1–28 April. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh unit yang tidak beroperasi atau kegagalan sistem BAS dalam merekam data. Meskipun kosong, grafik ini tetap penting sebagai indikator adanya gangguan operasional atau pencatatan.

#### Simulasi ON/OFF Strategi Chiller dan Evaluasi

Hasil simulasi aktifasi system *chiller* berdasarkan beban panas dari manusia dan suhu *ambient* sebagai parameter, dengan control simulasi logika *ON/OFF* bertujuan menghasilkan pengendalian otomatis *staging chiller* yang lebih baik. Simulasi dilakukan berdasarkan data aktual beban pendinginan dari tiga unit *chiller Grand Indonesia West Mall* selama periode Februari hingga April 2025, penerapan kalibrasi otomatis terhadap estimasi TR agar hasil simulasi relevan terhadap nilai aktual serta estimasi beban termal dari pengunjung berdasarkan konversi BTU ke TR.

Simulasi logika ini menggunakan Logika ON/OFF untuk mensimulasika kombinasi chiller yang aktif setiap hari berdasarkan nilai TR\_Estimasi dan Ambient Temp. Simulasi logika staging dengan beban rendah  $TR < 2000$  hanya chiller 1 aktif,  $2000 \leq TR \leq 4000$  chiller 1 dan 2 aktif,  $TR > 4000$  dan suhu  $> 26^{\circ}\text{C}$  → semua chiller aktif, dan jika suhu  $\leq 26^{\circ}\text{C}$ , hanya Chiller-1 dan Chiller-2 yang aktif. Lalu Output akan disimpan dalam kolom baru Chiller Aktif dan diekspor ke Excel untuk dokumentasu dan ditampilkan output table ke terminal dengan menggunakan format fancy\_grid.

#### Inisialisasi dan Preprocessing Data

Data aktual kapasitas pendinginan untuk masing-masing *chiller* dimuat dari file *Excel*, data setelah itu diolah untuk menghasilkan kapasitas aktual harian (TR total) yang mencerminkan beban pendinginan sebenarnya. Dengan fungsi *Preprocessing\_chiller()* yang bertugas sebagai pembaca file *Excel* dengan mengabaikan *header* tertentu, mengisi tanggal otomatis dari tanggal awal hingga 28 hari kedepan, membersihkan data seperti *off* dan *error*, menghasilkan kolom kapasitas pendingin untuk masing masing *chiller* lalu digabungkan dengan kode seperti dibawah.

Gambar 44 Alur Program Inisialisasi dan Preprocessing Data

```

# --- STEP 1: Load File dan Instalasi Data ---
file1 = "Februari Chiller 1 Summary.xlsx"
file2 = "Februari Chiller 2 Summary.xlsx"
file3 = "Februari Chiller 3 Summary.xlsx"
pengunjung_path = "_Pengunjung_Grand Indonesia_Februari_2025.xlsx"
tanggal_awal = pd.Timestamp("2025-04-01")

# --- Fungsi Preprocessing Chiller ---
def preprocess_chiller(path, label, tanggal_awal):
    df = pd.read_excel(path, skiprows=5, iloc=[128]).copy()
    df['Tanggal'] = pd.date_range(start=tanggal_awal, periods=28, freq='D')
    df = df.rename(columns={'Unnamed: 14': f'TR_{label}'})
    df[f'TR_{label}'] = pd.to_numeric(df[f'TR_{label}'], errors='coerce')
    df[f'TR_{label}'] = df[f'TR_{label}'].where(~df[f'TR_{label}'].astype(str).str.lower().isin(['off', 'bass', 'error']))
    return df[['Tanggal', f'TR_{label}']]

# --- Load dan Gabungan Chiller ---
df1 = preprocess_chiller(file1, "Ch1", tanggal_awal)
df2 = preprocess_chiller(file2, "Ch2", tanggal_awal)
df3 = preprocess_chiller(file3, "Ch3", tanggal_awal)
df_chiller = df1.merge(df2, on='Tanggal').merge(df3, on='Tanggal')
df_chiller[['TR_Ch1', 'TR_Ch2', 'TR_Ch3']] = df_chiller[['TR_Ch1', 'TR_Ch2', 'TR_Ch3']].fillna(0)
df_chiller['TR_Total'] = df_chiller[['TR_Ch1', 'TR_Ch2', 'TR_Ch3']].sum(axis=1)

```

Potongan kode ini digunakan untuk menggabungkan dan memproses data harian total kapasitas pendinginan (TR) dari tiga unit *chiller* berbeda.

Langkah pertama adalah memuat *file Excel* dan mendefinisikan tanggal awal analisis (2025-04-01). Fungsi `preprocess_chiller()` membaca masing-masing *file chiller*, mengambil 28 baris pertama, mengatur tanggal berurutan, dan membersihkan data dengan membuang nilai non-numerik seperti '*off*', '*bass*', dan '*error*'.

Selanjutnya, ketiga data *chiller* (df1, df2, df3) digabung berdasarkan kolom 'Tanggal'. Setiap nilai TR yang kosong diisi dengan nol, lalu dihitung kolom baru TR\_Total sebagai penjumlahan dari ketiga unit (TR\_Ch1, TR\_Ch2, dan TR\_Ch3).

#### Estimasi Beban Panas Manusia

Menggunakan asumsi 750 BTU/Jam per orang selama 8 jam operasional, dilakukan estimasi beban termal dalam kode ( `TR_Estimasi`) yang dihasilkan pengunjung *mall*. Data jumlah pengunjung diambil dari *file Excel* dan dikalibrasikan berdasarkan distribusi pengunjung *weekday/weekend* serta kontribusi khusus bagian *West Mall*. Setelah itu dilakukan kalibrasi estimasi dengan data aktual agar hasil lebih realistis, dilakukan kalibrasi otomatis terhadap TR estimasi agar mendekati TR total aktual.

Gambar 45. Alur Program Estimasi Beban Panas Manusia

```

# --- Load dan Estimasi Beban Manusia ---
pengunjung_data = pd.read_excel(pengunjung_path, header=None)
avg_weekday_total = int(pengunjung_data.iloc[2, 2])
avg_weekend_total = int(pengunjung_data.iloc[3, 2])
kontribusi_wm = float(pengunjung_data.iloc[7, 2])
avg_weekday_wm = round(avg_weekday_total * kontribusi_wm)
avg_weekend_wm = round(avg_weekend_total * kontribusi_wm)
kategori_hari = ['Weekend' if t.weekday() >= 5 else 'Weekday' for t in df_chiller['Tanggal']]
pengunjung = [avg_weekend_wm if k == 'Weekend' else avg_weekday_wm for k in kategori_hari]
df_pengunjung = pd.DataFrame({'Tanggal': df_chiller['Tanggal'], 'Pengunjung WM': pengunjung})

# Hitung TR_Estimasi awal (belum dikalibrasi)
BTU_per_orang = 750
jam_operasi = 8
df_pengunjung['TR_Estimasi'] = df_pengunjung['Pengunjung WM'] * BTU_per_orang * jam_operasi / 12000

# --- Gabungan dengan TR aktual ---
df_final = pd.merge(df_chiller[['Tanggal', 'TR_Total']], df_pengunjung, on='Tanggal')

# --- Kalibrasi Otomatis TR_Estimasi ---
rerata_tr_aktual = df_final['TR_Total'].mean()
rerata_tr_estimasi = df_final['TR_Estimasi'].mean()
faktor_koreksi = rerata_tr_aktual / rerata_tr_estimasi
df_final['TR_Estimasi'] *= faktor_koreksi

```

Potongan kode ini berfungsi untuk menghitung estimasi beban pendinginan (*TR Estimasi*) berdasarkan jumlah pengunjung harian gedung, lalu mengkalibrasinya dengan data aktual dari sistem *chiller*. Langkah awal dimulai dengan *load* data pengunjung dari *file*

*Excel*, kemudian dihitung rata-rata pengunjung pada *weekday* dan *weekend*. Data ini dikalikan dengan nilai *kontribusi WM* (kontribusi panas per orang) untuk menghasilkan estimasi beban termal dari manusia setiap hari, tergantung kategorinya (hari kerja atau akhir pekan).

Selanjutnya, beban termal tersebut dikonversi menjadi *TR Estimasi* dengan rumus:  $TR = (\text{Jumlah pengunjung} \times \text{BTU per orang} \times \text{jam operasi}) / 12.000$ , dengan asumsi 750 BTU/orang dan waktu operasi 8 jam per hari.

Data *TR Estimasi* kemudian digabungkan dengan data *TR Total* aktual dari sistem pendingin menggunakan *merge*. Karena satuan atau skala estimasi bisa tidak langsung sesuai, maka dilakukan proses *kalibrasi otomatis* dengan membandingkan rata-rata *TR aktual* dan *TR estimasi*. Estimasi dikoreksi menggunakan faktor kalibrasi agar nilainya mendekati data aktual.

Penambahan Variabel Suhu Ambient

Dikarnakan data suhu ambient aktual tidak tersedia, maka ditambahkan simulasi beban suhu sebesar 26 °C, dikarnakan setiap hari memiliki suhu yang bervariasi secara realistis. Dengan menambahkan alur program seperti dibawah

Gambar 46 Alur Program Penambahan Variabel Suhu Ambient

```
# === Tambahkan Suhu Ambien ===  
np.random.seed(42)  
df_final['Ambient Temp'] = np.random.normal(loc=26.0, scale=0.8, size=28).round(2)
```

Potongan kode ini digunakan untuk menambahkan data suhu ambien ke dalam *DataFrame* *df\_final* secara simulatif. Dengan menggunakan fungsi *np.random.normal()*, dibuat 28 nilai acak yang mengikuti distribusi normal dengan *mean* (*loc*) sebesar 26,0°C dan *standard deviation* (*scale*) sebesar 0,8. Nilai-nilai ini kemudian dibulatkan hingga dua desimal dengan *.round(2)*. Fungsi *np.random.seed(42)* digunakan untuk menetapkan *seed* sehingga hasil bilangan acak tetap konsisten setiap kali dijalankan (*reproducibility*). Secara keseluruhan, bagian ini berfungsi sebagai simulasi suhu lingkungan harian (*ambient temperature*) yang dibutuhkan untuk keperluan analisis lebih lanjut seperti regresi atau korelasi terhadap beban pendinginan.

Simulasi Aktivasi Chiller Logika ON/OFF

Simulasi logika ini menggunakan Logika *ON/OFF* untuk mensimulasika kombinasi *chiller* yang aktif setiap hari berdasarkan nilai *TR\_Estimasi* dan *Ambient Temp*. Simulasi

logika staging dengan beban rendah  $TR < 100$  hanya *chiller 1* aktif,  $100 \leq TR \leq 200$  *chiller 1* dan *2* aktif,  $TR > 200$  dan suhu  $> 26^\circ\text{C}$  → semua *chiller* aktif, dan jika suhu  $\leq 26^\circ\text{C}$ , hanya Chiller-1 dan Chiller-2 yang aktif. Lalu Output akan disimpan dalam kolom baru *Chiller Aktif* dan diekspor ke Excel untuk dokumentasi dan ditampilkan output table ke terminal dengan menggunakan format *fancy\_grid*.

Gambar 47 Alur Program Simulasi Aktivasi Chiller Logika ON/OFF

```
def aktifkan_chiller(tr, suhu):
    if tr < 2000:
        return "Chiller-1"
    elif 2000 <= tr <= 4000:
        return "Chiller-1, Chiller-2"
    elif tr > 4000 and suhu > 26:
        return "Chiller-1, Chiller-2, Chiller-3"
    else:
        return "Chiller-1, Chiller-2"

df_final['Chiller Aktif'] = df_final.apply(lambda row: aktifkan_chiller(row['TR_Estimasi'], row['Ambient Temp']), a

# === Indeks Mulai dari 1 ===
df_final.index += 1

# === Simpan ke Excel ===
df_final.to_excel("Simulasi_Chiller_Kalibrasi_April_2025.xlsx", index=True)

# === Tampilkan Tabel Rapi ===
print("=== Simulasi Chiller Aktif dengan Kalibrasi TR_Estimasi ===\n")
print(tabulate(df_final[['Tanggal', 'TR_Estimasi', 'TR_Total', 'Ambient Temp', 'Chiller Aktif']],
               headers='keys', tablefmt='fancy_grid', showindex=True))
```

Potongan kode ini menyimulasikan logika aktivasi unit chiller berdasarkan estimasi beban pendinginan (TR Estimasi) dan suhu lingkungan (Ambient Temp). Fungsi `aktifkan_chiller()` digunakan untuk menentukan kombinasi unit yang aktif dengan mempertimbangkan besarnya beban termal. Jika nilai TR Estimasi kurang dari 2000, maka sistem hanya mengaktifkan Chiller-1. Pada rentang beban 2000 hingga 4000, unit yang digunakan adalah Chiller-2, sedangkan jika beban melebihi 4000 dan suhu ambien berada di atas  $26^\circ\text{C}$ , maka ketiga unit chiller akan aktif secara bersamaan. Dalam kondisi lain di luar skenario tersebut, hanya Chiller-1 dan Chiller-2 yang diaktifkan. Fungsi ini kemudian diterapkan ke seluruh data menggunakan metode `apply()` dan hasilnya disimpan dalam kolom baru bernama "Chiller Aktif". Setelah itu, indeks DataFrame `df` final disesuaikan agar dimulai dari angka satu guna memperbaiki keterbacaan data. Selanjutnya, hasil simulasi diekspor ke file Excel bernama `Simulasi_Chiller_Kalibrasi_April_2025.xlsx` untuk dokumentasi atau keperluan analisis lanjutan. Akhirnya, data ditampilkan dalam bentuk tabel rapi menggunakan pustaka `tabulate`, yang menyajikan informasi tanggal, estimasi dan realisasi TR, suhu lingkungan, serta konfigurasi unit chiller yang diaktifkan setiap hari. Pendekatan ini membantu dalam memahami strategi pengoperasian sistem pendingin secara efisien berdasarkan dinamika beban dan suhu lingkungan harian..

Hasil Logika ON/OFF Periode Februari hingga April 2025

Tabel 48 Simulasi Chiller Februari 2025

	Tanggal	TR_Estimasi	TR_Total	Ambient Temp	Chiller Aktif
1	2025-02-01 00:00:00	3952.42	3761.56	26.4	Chiller-1, Chiller-2
2	2025-02-02 00:00:00	3952.42	3561.73	25.89	Chiller-1, Chiller-2
3	2025-02-03 00:00:00	3208.42	3790.08	26.52	Chiller-1, Chiller-2
4	2025-02-04 00:00:00	3208.42	3692.11	27.22	Chiller-1, Chiller-2
5	2025-02-05 00:00:00	3208.42	1868.12	25.81	Chiller-1, Chiller-2
6	2025-02-06 00:00:00	3208.42	3867.98	25.81	Chiller-1, Chiller-2
7	2025-02-07 00:00:00	3208.42	3879.65	27.26	Chiller-1, Chiller-2
8	2025-02-08 00:00:00	3952.42	3810.2	26.61	Chiller-1, Chiller-2
9	2025-02-09 00:00:00	3952.42	3922.87	25.62	Chiller-1, Chiller-2
10	2025-02-10 00:00:00	3208.42	4064.42	26.43	Chiller-1, Chiller-2
11	2025-02-11 00:00:00	3208.42	4098.3	25.63	Chiller-1, Chiller-2
12	2025-02-12 00:00:00	3208.42	3952.93	25.63	Chiller-1, Chiller-2
13	2025-02-13 00:00:00	3208.42	3870.44	26.19	Chiller-1, Chiller-2
14	2025-02-14 00:00:00	3208.42	3947.12	24.47	Chiller-1, Chiller-2
15	2025-02-15 00:00:00	3952.42	3802.18	24.62	Chiller-1, Chiller-2
16	2025-02-16 00:00:00	3952.42	3915.6	25.55	Chiller-1, Chiller-2
17	2025-02-17 00:00:00	3208.42	3960.84	25.19	Chiller-1, Chiller-2
18	2025-02-18 00:00:00	3208.42	3073.7	26.25	Chiller-1, Chiller-2
19	2025-02-19 00:00:00	3208.42	0	25.27	Chiller-1, Chiller-2
20	2025-02-20 00:00:00	3208.42	3921.58	24.87	Chiller-1, Chiller-2
21	2025-02-21 00:00:00	3208.42	3290.02	27.17	Chiller-1, Chiller-2
22	2025-02-22 00:00:00	3952.42	1845.41	25.82	Chiller-1, Chiller-2
23	2025-02-23 00:00:00	3952.42	1766.47	26.05	Chiller-1, Chiller-2
24	2025-02-24 00:00:00	3208.42	3109.67	24.86	Chiller-1, Chiller-2
25	2025-02-25 00:00:00	3208.42	3626.93	25.56	Chiller-1, Chiller-2
26	2025-02-26 00:00:00	3208.42	3358.93	26.09	Chiller-1, Chiller-2
27	2025-02-27 00:00:00	3208.42	3607.35	25.08	Chiller-1, Chiller-2
28	2025-02-28 00:00:00	3208.42	3621.48	26.3	Chiller-1, Chiller-2

Hasil simulasi chiller Februari 2025 menunjukkan TR\_Estimasi sekitar 3208.42 TR di weekday dan 3952.42 TR di weekend, mencerminkan beban pengunjung yang konsisten. Beban aktual (TR\_Total) berkisar antara 1766.47 TR hingga 4908.3 TR, dengan satu hari (19 Februari) tidak mencatat data.

Chiller-1 dan Chiller-2 aktif setiap hari sebagai beban dasar. Meskipun beberapa hari mencatat TR\_Total > 4000 TR, Chiller-3 tidak pernah aktif karena suhu ambien stabil di bawah 26.5°C. Hal ini menunjukkan logika ON/OFF bekerja efisien: menyesuaikan kebutuhan pendinginan tanpa pemborosan energi.

Tabel 49 Simulasi Chiller Maret 2025

	Tanggal	TR_Estimasi	TR_Total	Ambient Temp	Chiller Aktif
1	2025-03-01 00:00:00	4035.12	3349.74	26.4	Chiller-1, Chiller-2, Chiller-3
2	2025-03-02 00:00:00	4035.12	3552.2	25.89	Chiller-1, Chiller-2
3	2025-03-03 00:00:00	3157.6	3643.27	26.52	Chiller-1, Chiller-2
4	2025-03-04 00:00:00	3157.6	3661.19	27.22	Chiller-1, Chiller-2
5	2025-03-05 00:00:00	3157.6	3818.34	25.81	Chiller-1, Chiller-2
6	2025-03-06 00:00:00	3157.6	3834.36	25.81	Chiller-1, Chiller-2
7	2025-03-07 00:00:00	3157.6	3885.8	27.26	Chiller-1, Chiller-2
8	2025-03-08 00:00:00	4035.12	3916.6	26.61	Chiller-1, Chiller-2, Chiller-3
9	2025-03-09 00:00:00	4035.12	3728.13	25.62	Chiller-1, Chiller-2
10	2025-03-10 00:00:00	3157.6	3894.62	26.43	Chiller-1, Chiller-2
11	2025-03-11 00:00:00	3157.6	3996.06	25.63	Chiller-1, Chiller-2
12	2025-03-12 00:00:00	3157.6	3994.97	25.63	Chiller-1, Chiller-2
13	2025-03-13 00:00:00	3157.6	4029.16	26.19	Chiller-1, Chiller-2
14	2025-03-14 00:00:00	3157.6	0	24.47	Chiller-1, Chiller-2
15	2025-03-15 00:00:00	4035.12	3826.4	24.62	Chiller-1, Chiller-2
16	2025-03-16 00:00:00	4035.12	3877.65	25.55	Chiller-1, Chiller-2
17	2025-03-17 00:00:00	3157.6	4056.54	25.19	Chiller-1, Chiller-2
18	2025-03-18 00:00:00	3157.6	3974.58	26.25	Chiller-1, Chiller-2
19	2025-03-19 00:00:00	3157.6	3933.28	25.27	Chiller-1, Chiller-2
20	2025-03-20 00:00:00	3157.6	3966.17	24.87	Chiller-1, Chiller-2
21	2025-03-21 00:00:00	3157.6	3977.79	27.17	Chiller-1, Chiller-2
22	2025-03-22 00:00:00	4035.12	3921.27	25.82	Chiller-1, Chiller-2
23	2025-03-23 00:00:00	4035.12	3651.39	26.05	Chiller-1, Chiller-2, Chiller-3
24	2025-03-24 00:00:00	3157.6	0	24.86	Chiller-1, Chiller-2
25	2025-03-25 00:00:00	3157.6	0	25.56	Chiller-1, Chiller-2
26	2025-03-26 00:00:00	3157.6	3260.46	26.09	Chiller-1, Chiller-2
27	2025-03-27 00:00:00	3157.6	3806.82	25.08	Chiller-1, Chiller-2
28	2025-03-28 00:00:00	3157.6	3876.1	26.3	Chiller-1, Chiller-2

Simulasi chiller Maret 2025 menunjukkan TR\_Estimasi sekitar 3157.6 TR di weekday dan 4035.12 TR di weekend. Beban aktual (TR\_Total) bervariasi antara 3206.46 TR hingga 4065.54 TR, dengan tiga hari (14, 24, dan 25 Maret) tidak memiliki data.

Chiller-1 dan Chiller-2 aktif hampir setiap hari. Chiller-3 hanya aktif pada 1, 8, dan 23 Maret, ketika TR\_Estimasi melebihi 4000 TR dan suhu ambien di atas 26°C. Aktivasi ini menunjukkan bahwa logika kontrol bekerja adaptif, mempertimbangkan baik beban internal maupun suhu luar untuk menjaga efisiensi dan kinerja sistem pendingin

Tabel 50 Simulasi Chiller April 2025

	Tanggal	TR_Estimasi	TR_Total	Ambient Temp	Chiller Aktif
1	2025-04-01 00:00:00	2883.55	3249.57	26.4	Chiller-1, Chiller-2
2	2025-04-02 00:00:00	2883.55	3440.31	25.89	Chiller-1, Chiller-2
3	2025-04-03 00:00:00	2883.55	0	26.52	Chiller-1, Chiller-2
4	2025-04-04 00:00:00	2883.55	3321.01	27.22	Chiller-1, Chiller-2
5	2025-04-05 00:00:00	3621.48	3279.12	25.81	Chiller-1, Chiller-2
6	2025-04-06 00:00:00	3621.48	3324.29	25.81	Chiller-1, Chiller-2
7	2025-04-07 00:00:00	2883.55	3742.95	27.26	Chiller-1, Chiller-2
8	2025-04-08 00:00:00	2883.55	3324.78	26.61	Chiller-1, Chiller-2
9	2025-04-09 00:00:00	2883.55	3711.41	25.62	Chiller-1, Chiller-2
10	2025-04-10 00:00:00	2883.55	3788.15	26.43	Chiller-1, Chiller-2
11	2025-04-11 00:00:00	2883.55	3799.49	25.63	Chiller-1, Chiller-2
12	2025-04-12 00:00:00	3621.48	3846.9	25.63	Chiller-1, Chiller-2
13	2025-04-13 00:00:00	3621.48	3706.6	26.19	Chiller-1, Chiller-2
14	2025-04-14 00:00:00	2883.55	3921.48	24.47	Chiller-1, Chiller-2
15	2025-04-15 00:00:00	2883.55	3782.19	24.62	Chiller-1, Chiller-2
16	2025-04-16 00:00:00	2883.55	3714.17	25.55	Chiller-1, Chiller-2
17	2025-04-17 00:00:00	2883.55	4064.9	25.19	Chiller-1, Chiller-2
18	2025-04-18 00:00:00	2883.55	1814.64	26.25	Chiller-1, Chiller-2
19	2025-04-19 00:00:00	3621.48	1836.81	25.27	Chiller-1, Chiller-2
20	2025-04-20 00:00:00	3621.48	1944.77	24.87	Chiller-1, Chiller-2
21	2025-04-21 00:00:00	2883.55	3933.37	27.17	Chiller-1, Chiller-2
22	2025-04-22 00:00:00	2883.55	3923.97	25.82	Chiller-1, Chiller-2
23	2025-04-23 00:00:00	2883.55	3779.09	26.05	Chiller-1, Chiller-2
24	2025-04-24 00:00:00	2883.55	3693.48	24.86	Chiller-1, Chiller-2
25	2025-04-25 00:00:00	2883.55	1954.16	25.56	Chiller-1, Chiller-2
26	2025-04-26 00:00:00	3621.48	3808.24	26.09	Chiller-1, Chiller-2
27	2025-04-27 00:00:00	3621.48	0	25.08	Chiller-1, Chiller-2
28	2025-04-28 00:00:00	2883.55	1936.87	26.3	Chiller-1, Chiller-2

Simulasi chiller April 2025 menunjukkan TR\_Estimasi sekitar 2883.55 TR di weekday dan 3621.48 TR di weekend, mencerminkan pola beban termal yang stabil dan proporsional terhadap kunjungan. TR\_Total harian berkisar dari 1814.64 TR hingga 4064.9 TR, dengan dua hari (3 dan 27 April) tidak memiliki data.

Sepanjang bulan, Chiller-1 dan Chiller-2 aktif sebagai konfigurasi dasar. Chiller-3 tidak pernah diaktifkan, karena meskipun beban sesekali tinggi, suhu ambien tetap berada di bawah atau sekitar 26.5°C. Ini menunjukkan bahwa logika kontrol bekerja efisien dan konservatif, mengaktifkan kapasitas pendinginan sesuai kebutuhan tanpa pemborosan energi.

Potongan kode ini menyimulasikan logika aktivasi unit chiller berdasarkan estimasi beban pendinginan (TR Estimasi) dan suhu lingkungan (Ambient Temp). Fungsi

aktifkan\_chiller() digunakan untuk menentukan kombinasi unit yang aktif dengan mempertimbangkan besarnya beban termal. Jika nilai TR Estimasi kurang dari 2000, maka sistem hanya mengaktifkan Chiller-1. Pada rentang beban 2000 hingga 4000, unit yang digunakan adalah Chiller-2, sedangkan jika beban melebihi 4000 dan suhu ambien berada di atas 26°C, maka ketiga unit chiller akan aktif secara bersamaan. Dalam kondisi lain di luar skenario tersebut, hanya Chiller-1 dan Chiller-2 yang diaktifkan. Fungsi ini kemudian diterapkan ke seluruh data menggunakan metode .apply() dan hasilnya disimpan dalam kolom baru bernama "Chiller Aktif". Setelah itu, indeks DataFrame df\_final disesuaikan agar dimulai dari angka satu guna memperbaiki keterbacaan data. Selanjutnya, hasil simulasi diekspor ke file Excel bernama Simulasi\_Chiller\_Kalibrasi\_April\_2025.xlsx untuk dokumentasi atau keperluan analisis lanjutan. Akhirnya, data ditampilkan dalam bentuk tabel rapi menggunakan pustaka tabulate, yang menyajikan informasi tanggal, estimasi dan realisasi TR, suhu lingkungan, serta konfigurasi unit chiller yang diaktifkan setiap hari. Pendekatan ini membantu dalam memahami strategi pengoperasian sistem pendingin secara efisien berdasarkan dinamika beban dan suhu lingkungan harian.

## SIMPULAN

Bagian ini merangkum hasil utama dari seluruh kegiatan analisis dan simulasi sistem *chiller* di *West Mall Grand Indonesia*. Kesimpulan disusun berdasarkan data operasional yang telah diolah serta hasil simulasi yang dilakukan, guna memberikan gambaran menyeluruh mengenai kinerja sistem *VAC* selama periode pengamatan.

1. Efisiensi sistem chiller belum sepenuhnya stabil
  - a. Selama periode pengamatan, nilai COP dan kW/TR cenderung berfluktuasi, mencerminkan ketidakpastian dalam pola operasional harian. Meskipun secara umum unit chiller bekerja dalam rentang yang layak, terdapat hari-hari tertentu yang menunjukkan performa sangat rendah, bahkan nihil akibat kendala teknis atau kesalahan sistem. Ketidakstabilan ini menunjukkan perlunya kontrol operasional yang lebih responsif terhadap kondisi aktual lapangan.
2. Pengaruh suhu lingkungan signifikan, tetapi belum direspons secara adaptif
  - a. Hasil regresi linier mengindikasikan bahwa semakin tinggi suhu luar, semakin rendah performa pendinginan sistem. Namun, tidak ditemukan bukti adanya penyesuaian strategi operasional terhadap suhu lingkungan tersebut. Artinya, sistem saat ini masih mengandalkan jadwal tetap, bukan data real-time.

3. Konsumsi energi tidak mencerminkan kebutuhan aktual
  - a. Data menunjukkan bahwa konsumsi energi pada akhir pekan tetap tinggi, meskipun beban pendinginan dari pengunjung relatif menurun. Kondisi ini menimbulkan asumsi bahwa sistem pendingin dioperasikan tanpa mempertimbangkan kebutuhan aktual, sehingga berdampak pada pemborosan energi yang sebenarnya bisa dihindari.
4. Simulasi logika ON/OFF memberikan hasil positif
  - a. Model simulasi berbasis logika ON/OFF menunjukkan pola pengoperasian yang lebih hemat energi dengan menyesuaikan kondisi beban termal dan suhu ambient. Aktivasi bertahap, yang hanya mengaktifkan Chiller-3 saat beban tinggi dan suhu panas, terbukti dapat menghindari pengoperasian berlebih. Meskipun masih bersifat simulatif, hasil ini memberi gambaran bahwa pendekatan berbasis data mampu membawa efisiensi yang signifikan.
5. Potensi penghematan energi sangat besar, namun belum dimanfaatkan
  - a. Dari keseluruhan analisis, terlihat bahwa ada celah besar dalam efisiensi operasional yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Sistem BAS saat ini bersifat pasif dan belum didukung dengan pengambilan keputusan berbasis prediksi atau pembacaan langsung terhadap beban dan suhu. Hal ini menjadi peluang besar untuk pengembangan sistem kontrol otomatis yang lebih cerdas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- AHRI Standard. (2000). *2000 Standard for Absorption Water Chilling and Water Heating Packages*.
- Albanna, I., Tri, R., Informasi, J. S., Teknologi, I., & Tama, A. (2022). Implementasi Pandas Data frame sebagai Agregasi dan Tabulasi Penyajian Data Luaran Survei Kepuasan Pengguna Proses Pembelajaran dalam Pendidikan Tinggi. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan X*, 1–6.
- ANSI Standar. (2023). *2023 Standard for Performance Rating of Water-chilling and Heat Pump Water-heating Packages Using the Vapor Compression Cycle* (Vol. 2023, Issue June).
- Arinda, N. H., Putra, A. S., Amalia, D., & Indra, M. (2024). *FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI OPTIMIZATION ENERGY SAVING IN LARGE AIRPORT TERMINAL : HVAC TECHNOLOGY, ECO AIRPORT SYSTEM DAN ENERGY*. 9(3).
- Asim, N., Badiei, M., Mohammad, M., Razali, H., Rajabi, A., Chin Haw, L., & Jameelah Ghazali, M. (2022). Sustainability of Heating, Ventilation and Air-Conditioning (HVAC) Systems

- in Buildings—An Overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph19021016>
- Fahmi, M. N., Tinggi, S., Islam, A., & Islam, N. (2023). Implementasi Mechine Learning menggunakan Python Library : Scikit-Learn ( Supervised dan Unsupervised Learning ). *Sains Data Jurnal Studi Matematika Dan Teknologi*, 2, 87–96.
- Falah, M., Pratama, Y., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., Gresik, U. M., & Timur, J. (2024). *DALAM SMART BUILDING UNTUK PENGHEMATAN*. 12(3).
- Hidayat, T., Mahardiko, R., & Alaydrus, M. (2020). Mobile cellular technology forecast for the Indonesian telecommunications industry. *Journal of Telecommunications and the Digital Economy*, 8(1), 37–48. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.130468083376368>
- Inayaturrahman, I., & Sudarma, A. F. (2023). *Analisis Studi Konsumsi Energi Sistem Tata Udara Passive Chilled Beam dan Active Chilled Beam Pada Gedung Perkantoran di Indonesia Analisis Studi Konsumsi Energi Sistem Tata Udara Passive Chilled Beam dan Active Chilled Beam Pada Gedung Perkantoran di Indonesia*. February. <https://doi.org/10.22441/jtm.v12i1.16305>
- Islam, M. M., & Shofiullah. (2024). Optimizing Hvac Efficiency and Reliability: a Review of Management Strategies for Commercial and Industrial Buildings. *Global Mainstream Journal*, 3(4), 13–30. <https://doi.org/10.62304/jieet.v3i4.187>
- Jyoti Lect, D., & Devi Arya Mahila College, S. (2021). Information and Communication Technology (ICT) and Globalization. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 6(5), 224–226. [www.ijisrt.com](http://www.ijisrt.com)224
- Kim, D. (2022). *Buildings : A Review of Current Research Trends*.
- Makruf, A., Rahmadhani, R., Ningsih, P. S., Jayaditama, W., & Rani, N. (2020). Pengukuran Tegangan , Arus , Daya Pada Prototype PLTS Berbasis Mikrokontroler Arduin Uno. *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, 5(1), 8–16.
- Panjaitan, M., & Hutagalung, S. N. (2025). *Cendikia : Media Jurnal Ilmiah Pendidikan Improve basic physics learning using the Jupyter Notebook App*. 15(3), 126–131.
- Prosser, J. M., Shaffer, S. A., Lesnar, C., Baines, M., Jr, T. H. F., Smith, S. C., Vucci, J. I., Barnaby, C. S., Gallagher, M. W., Hanson, S. S., Heiden, R. M., & Humble, J. (2020). *Method of Testing Liquid Chillers*. 8400.
- Rahman, M., Rahaman, S., Islam, R., Rahman, F., Mithi, F. M., Alqahtani, T., Almikhlaifi, M. A., Alghamdi, S. Q., Alruwaili, A. S., Hossain, S., Ahmed, M., Das, R., Emran, T. Bin, & Uddin, S. (2022). Role of Phenolic Compounds in Human Disease: Current. *Molecules*, 27(233), 1–36.

- Raschka, S., Patterson, J., & Nolet, C. (2020). Machine learning in python: Main developments and technology trends in data science, machine learning, and artificial intelligence. *Information (Switzerland)*, 11(4), 1–48. <https://doi.org/10.3390/info11040193>
- Riza, F., Hady, M. S., Rafli, M., Afifi, S., & Kurniawan, A. R. (2025). *Pemanfaatan Bahasa Pemrograman Python dalam Pembelajaran : Tinjauan Studi Literatur*. 1–10.
- SNI. (2001). *Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung*. 1–55.
- Standar Nasional Indonesia. (2020). *Konservasi energi sistem tata udara pada bangunan gedung*.
- Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Walt, S. J. Van Der, Brett, M., Wilson, J., & Millman, K. J. (2020). Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python. *Perspective*, 17(March), 261–272. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>
- Zainuddin, M. (2014). *Optimasi Lokasi Injeksi dan Ukuran Kapasitas Daya Photovoltaic Distributed Generations (PVDG) Menggunakan Metode Algoritma Genetika*. 8(2), 199–203. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/158644/>
- Zulkarnaini, A., Sinambela, R., & Lisapaly, L. (2024). LISTRIK DI GEDUNG ADMINISTRASI UNIVERSITAS JAYABAYA. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 26(3), 132–139. <https://doi.org/10.14710/transmisi.26.3.132-138>