

Evaluasi Efisiensi Konsumsi Energi Listrik Berbasis Analisis *Demand Factor* pada Sistem Distribusi Kelistrikan Industri PT Semen Grobogan

Dyna Maharani¹, Harmini², Priyo Adi Sesotyo³, Elfira Nureza Andini⁴

^{1,2,3,4}Teknik Elektro, Teknik, Universitas Semarang

Email: *¹dinamaharani933@gmail.com, ²harmini@usm.ac.id, ³psesotyo@usm.ac.id,
⁴elfira_na@usm.ac.id

(Naskah masuk: 10 Oktober 2023, diterima untuk diterbitkan: 15 November 2023)

Abstrak: Kebutuhan energi listrik pada sektor industri meningkat seiring dengan ekspansi kapasitas produksi dan penggunaan peralatan berdaya besar. Kondisi ini menuntut pengelolaan sistem kelistrikan yang efisien agar kapasitas daya terpasang dapat dimanfaatkan secara optimal. PT Semen Grobogan sebagai industri semen berskala besar dengan kapasitas produksi sebesar 2,5 juta ton per tahun memiliki sistem kelistrikan dengan kapasitas terpasang sebesar 40 MVA yang disuplai oleh PLN dan di bagi pada trafo 1 dan trafo 2. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efisiensi pemanfaatan energi listrik pada instalasi kelistrikan PT Semen Grobogan melalui analisis demand factor. Metode penelitian ini meliputi pengukuran dan pencatatan beban listrik pada sistem distribusi, perhitungan beban maksimum, serta analisis nilai demand factor pada masing-masing transformator selama periode Mei-Juli 2025. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai demand factor pada trafo 1 dan trafo 2 berada pada kisaran 72%-76% dengan variasi antar bulan yang relatif kecil. Secara global, demand factor sistem berada pada kisaran 73%-74% terhadap kapasitas terpasang 40 MVA. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kapasitas yang terpasang telah dimanfaatkan secara efisien dan masih berada dalam batas operasi yang aman bagi sistem kelistrikan industri. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa analisis demand factor dapat digunakan sebagai indikator evaluasi pemanfaatan kapasitas sistem kelistrikan dan sebagai dasar pengelolaan beban untuk menjaga stabilitas dan keandalan operasi industri.

Kata Kunci – Demand Factor; Efisiensi Energi; Industri Semen; Optimalisasi Beban

Evaluation of Electrical Energy Consumption Efficiency Based on Demand Factor Analysis in the Electrical Distribution System of PT Semen Grobogan Industry

Abstract: The demand for electricity in the industrial sector increases along with the expansion of production capacity and the use of high-power equipment. This situation requires efficient management of the electrical system so that the installed power capacity can be utilized optimally. PT Semen Grobogan, as a large-scale cement industry with a production capacity of 2.5 million tons per year, has an electrical system with an installed capacity of 40 MVA supplied by PLN and distributed to transformer 1 and transformer 2. This study aims to examine the efficiency of electricity use in the electrical installation of PT Semen Grobogan through demand factor analysis. The research methods include measuring and recording electrical loads in the distribution system, calculating maximum loads, and analyzing the demand factor values for each transformer during the May-July 2025 period. The analysis results show that the demand factor values for transformer 1 and transformer 2 are in the range of 72%-76% with the variation between months is relatively small. Globally, the system demand factor ranges from 73% to 74% of the installed capacity of 40 MVA. This value indicates that the installed capacity has been utilized efficiently and remains within safe operational limits for the industrial electrical system. The results of this study confirm that demand factor analysis can be used as an indicator for evaluating the utilization of electrical system capacity and as a basis for load management to maintain the stability and reliability of industrial operations.

Keywords – Demand Factor; Energy Efficiency; Cement Industry; Load Optimization

1. PENDAHULUAN

Sektor industri merupakan salah satu pengguna energi listrik terbesar secara global, dengan kontribusi signifikan terhadap total konsumsi energi nasional dan emisi karbon. Peningkatan efisiensi energi di sektor industri menjadi strategi utama dalam menjaga keberlanjutan sistem tenaga listrik dan menekan biaya operasional [1]. Dalam konteks industri berbasis proses kontinu seperti industri semen, karakteristik beban yang besar dan fluktuatif menjadikan evaluasi pemanfaatan kapasitas daya sebagai aspek penting dalam manajemen energi

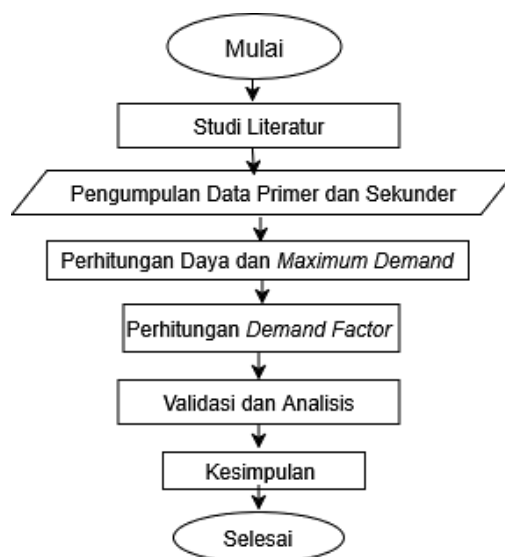
Berbagai penelitian telah membahas pendekatan kuantitatif dalam evaluasi efisiensi energi industri. Analisis berbasis parameter teknis konsumsi daya dan intensitas energi dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi penghematan secara sistematis [2]. Permintaan energi industri berdasarkan *output* manufaktur dan menunjukkan bahwa pola konsumsi listrik memiliki hubungan erat dengan karakteristik produksi [3]. Sementara itu, kajian mengenai kesenjangan efisiensi energi industri menunjukkan bahwa masih terdapat potensi optimalisasi pemanfaatan energi melalui evaluasi parameter operasional sistem [4].

Dalam sistem tenaga listrik industri, analisis karakteristik beban dan fleksibilitas konsumsi berperan penting dalam meningkatkan keandalan dan efisiensi distribusi daya melalui kajian strategi *demand response* pada beban industri [5]. Penelitian mengenai fleksibilitas konsumsi listrik industri juga menunjukkan bahwa analisis parameter beban dapat membantu mengidentifikasi margin kapasitas sistem [6]. Salah satu parameter penting dalam evaluasi pemanfaatan kapasitas daya adalah *demand factor*, yang mempresentasikan rasio antara beban maksimum terhadap kapasitas daya terpasang [7].

Di Indonesia, studi efisiensi energi listrik industri umumnya berfokus pada audit energi dan intensitas konsumsi, tanpa secara khusus menganalisis *demand factor* sebagai indikator pemanfaatan kapasitas sistem distribusi [8]. Berdasarkan tinjauan tersebut, masih terbatas kajian yang mengevaluasi efisiensi konsumsi energi listrik berbasis *demand factor* pada sistem distribusi industri semen di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi pemanfaatan kapasitas daya listrik di PT Semen Grobogan melalui perhitungan *demand factor* berdasarkan data beban aktual dan kapasitas terpasang. Metode yang digunakan meliputi pengukuran daya aktif pada *substation* utama serta analisis beban maksimum untuk menentukan nilai *demand factor* sebagai dasar evaluasi sistem.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alur Penelitian



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur untuk mengkaji teori-teori terkait dengan *demand factor*, efisiensi energi listrik, sistem tenaga listrik serta kriteria pemanfaatan kapasitas pada sistem industri. Objek penelitian difokuskan pada *incoming feeder substation* utama yaitu E211 (*Limestone Crusher*), E221 (*Raw Mill*), E231 (*KILN/Cooler*), dan E241 (*Cement Mill*) yang mempresentasikan beban utama dalam sistem kelistrikan industri.

Pengumpulan data primer diperoleh melalui pengukuran langsung parameter kelistrikan menggunakan *power meter display*, parameter yang dicatat adalah daya aktif (kW) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Pengukuran dilakukan selama satu minggu sebagai sampel untuk mempresentasikan beban aktual sistem.



Gambar 2. *Power Meter Display Sicamp*

Data sekunder berupa catatan konsumsi energi listrik periode Mei-Juli 2025. Data ini diperoleh dari *track record* operasional perusahaan dan digunakan untuk menghitung rata-rata daya harian serta pembandingan dalam proses validasi data primer. Pengolahan data dilakukan dengan menentukan nilai beban maksimum (*maximum demand*) dan kapasitas daya terpasang (*connected load*). Perhitungan *Demand Factor* ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\text{Demand Factor} = \frac{\text{Maximum Demand}}{\text{Connected Load}} \quad (1)$$

nilai *demand factor* yang diperoleh kemudian dianalisis dengan membandingkannya terhadap kriteria efisien pembebanan sebesar 60%-80%. Nilai < 60% menunjukkan kapasitas kurang termanfaatkan (*underutilization*), rentang 60%-80% menunjukkan kapasitas optimal dengan margin cadangan yang memadai, sedangkan nilai > 80% mengindikasikan pembebanan tinggi yang berpotensi menurunkan keandalan sistem.

Tahap terakhir adalah interpretasi hasil untuk mengevaluasi tingkat efisiensi pemanfaatan kapasitas daya dan kondisi keandalan sistem kelistrikan secara keseluruhan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

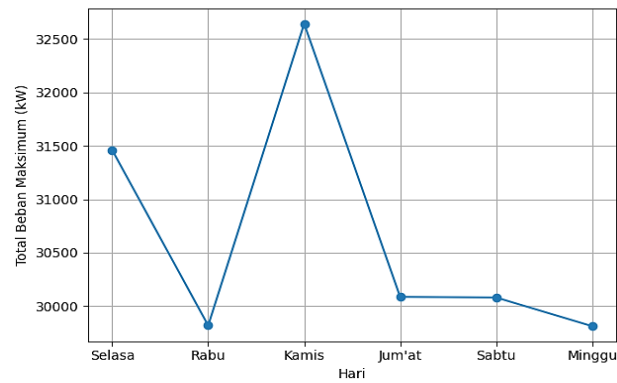
3.1. *Profil Beban Sistem Kelistrikan*

PT Semen Grobogan memperoleh suplai daya kontraktual sebesar 40 MVA dari PLN yang mendistribusikan melalui 2 *transformator* utama (E1105AH dan E1119AH) dengan kapasitas *nameplate* 31,5 MVA. Namun daya kontraktual operasional masing-masing trafo dibatasi sebesar 40 MVA. Sistem melayani empat *incoming feeder* utama (E211, E221, E231, E241) dengan karakteristik beban dominan motor listrik dan operasi kontinu.

Berdasarkan pengukuran langsung selama 7-12 Oktober 2025, total beban maksimum harian berada pada rentang 29.812,1-32.643,1 kW dengan rata-rata 30.650,02 kW yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 2. Selisih maksimum-minimum sebesar 2.831 kW atau kurang lebih sekitar 9,2% yang menunjukkan variasi beban harian relatif kecil dan sistem beroperasi stabil.

Tabel 1. Rekapitulasi Daya Beban Listrik Masing-masing substation (kW).

Hari	E211 (kW)	E221 (kW)	E231 (kW)	E241 (kW)	Total Beban Maksimum (kW)
SELASA	689,8	13.897	3.290,6	13.582,7	31.460,1
RABU	689,3	13.397,8	3.318,4	12.412,7	29.818,2
KAMIS	685	13.518,4	3.901,6	14.538,1	32.643,1
JUM'AT	701	13.806	3.317	12.262,1	30.086,1
SABTU	673,7	13.800,4	3.262	12.344,4	30.080,5
MINGGU	686,3	13.961,9	3.106,8	12.057,1	29.812,1
Rata - rata (kW)					30.650,02



Gambar 2. Grafik Total Beban Maksimum Harian

Pengukuran daya beban listrik dimulai pada hari Selasa karena pada satu Minggu sebelumnya sistem produksi mengalami kegiatan *maintenance* yang mengakibatkan sebagian besar peralatan utama tidak beroperasi secara normal. Pada hari Senin *pasca-maintenance* proses *feeding* dan pembebanan belum stabil sehingga data tersebut tidak digunakan dalam analisis.

Untuk memastikan *representative* data, dilakukan perbandingan dengan data konsumsi listrik periode Mei-Juli 2025 yang ditunjukkan pada Tabel 2. Rata-rata daya harian sistem selama tiga bulan sebesar 27.226,06 kW, dengan kontribusi terbesar berasal dari substation E221 dan E241. Data historis ini digunakan sebagai acuan dalam validasi beban maksimum sebelum perhitungan *demand factor* menggunakan persamaan (2).

Tabel 2. Rekapitulasi Data Catatan Konsumsi Daya Listrik Periode Mei – Juli 2025.

Substation	Daya Rata"/Hari Bulan Mei (kW)	Daya Rata"/Hari Bulan Juni (kW)	Daya Rata"/Hari Bulan Juli (kW)	Daya Rata"/Hari Dalam 3 Bulan (Kw)
E211	555,92	537,83	529,00	540,92
E221	12.882,51	13.580,92	12.617,51	13.026,98
E231	2.753,45	2.705,53	2.632,70	2.697,23
E241	10.959,95	10.489,53	11.433,32	10.960,93
TOTAL	27.151,82	27.313,82	27.212,53	27.226,06

$$\begin{aligned}
 \text{Selisih (\%)} &= \left| \frac{P_{\text{ukur}} - P_{\text{Sekunder}}}{P_{\text{Sekunder}}} \right| \times 100\% \quad (2) \\
 &= \left| \frac{30.650,02 - 27.226,06}{27.226,06} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{3.423,96}{27.226,06} \right| \times 100\% \\
 &= 12,58 \%
 \end{aligned}$$

Selisih 12,58% antara data pengukuran langsung dan data konsumsi listrik disebabkan oleh beberapa faktor teknis dan operasional, mengingat perbedaan metode pencatatan serta kondisi *pasca-maintenance* saat pengambilan data beban pengukuran langsung.

3.2. Rekapitulasi Beban Maksimum per Transformator

Rekapitulasi beban maksimum dilakukan pada masing-masing *transformator* untuk memperoleh nilai beban maksimum aktual sebagai dasar perhitungan *demand factor*. Data yang digunakan berasal dari catatan konsumsi listrik tiap *incoming feeder* selama periode bulan Mei-Juli 2025 yang dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{\text{maks}} = \frac{E}{t} \quad (3)$$

Dimana:

P_{maks} = daya maksimum (kW)

E = total konsumsi energi listrik (kWh)

t = waktu jam operasi

Perhitungan dilakukan berdasarkan asumsi waktu operasi bulanan 720 jam dengan penyesuaian satu hari pemeliharaan rutin. Hasil perhitungan daya maksimum masing-masing *transformator* disajikan pada Tabel 3-5.

Tabel 3. Rekapitulasi Beban Listrik Bulan Mei 2025

Trafo	Incoming Feeder Substation	Beban Aktual (kWh)	Total Beban (kWh)	$P_{maks} = \frac{kWh}{t (720)}$
Trafo 1 (E1105AH)	E211	206,80	9.973,40	13.851,94
	E221-1	5.429,63		
	E241-1	4.336,96		
Trafo 2 (E1119AH)	E231	2.048,56	10.380,73	14.417,68
	E221-2	4.154,93		
	E241-2	4.177,23		

Tabel 4. Rekapitulasi Beban Listrik Bulan Juni 2025

Trafo	Incoming Feeder Substation	Beban Aktual (kWh)	Total Beban (kWh)	$P_{maks} = \frac{kWh}{t (696)}$
Trafo 1 (E1105AH)	E211	193,620	9.818,87	14.107,58
	E221-1	5.683,79		
	E241-1	3.941,46		
Trafo 2 (E1119AH)	E231	1.947,98	9.653,45	13.869,90
	E221-2	4.094,47		
	E241-2	3.611,00		

Tabel 5. Rekapitulasi Beban Listrik Bulan Juli 2025.

Trafo	Incoming Feeder Substation	Beban Aktual (kWh)	Total Beban (kWh)	$P_{maks} = \frac{kWh}{t (696)}$
Trafo 1 (E1105AH)	E211	196,789	9.880,77	13.723,29
	E221-1	5.446,33		
	E241-1	4.237,64		
Trafo 2 (E1119AH)	E231	1.958,72	10.168,56	14.123,00
	E221-2	3.941,08		
	E241-2	4.268,74		

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3-5 menunjukkan:

1. Rata-rata daya maksimum trafo 1: 13.894 kW
2. Rata-rata daya maksimum trafo 2: 14.137 kW
3. Selisih rata-rata: 243 kW (1,73%)

Perbedaan tersebut menunjukkan pembebanan antar trafo relatif seimbang. Dibandingkan dengan kapasitas nominal 20.000 kVA pada tiap trafo, tingkat pembebanan maksimum berada pada kisaran 68%-72%, sehingga masih dalam batas operasional aman.

3.3. Demand Factor per Transformator

Demand factor didefinisikan sebagai perbandingan antara beban maksimum (*maximum demand*) dan daya terpasang (*connected load*). Dalam penelitian ini, beban maksimum diperoleh dari konversi konsumsi energi listrik (kWh) menjadi daya maksimum (kW) berdasarkan waktu jam operasi. Karena kapasitas trafo dinyatakan dalam kVA, dilakukan konversi ke kW menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = S \times \cos \varphi \quad (4)$$

Setelah nilai beban maksimum dan kapasitas terpasang berada dalam satuan yang sama (kW), *demand factor* dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Demand Factor = \frac{Maximum Demand}{Connected Load} \quad (5)$$

berdasarkan hasil perhitungan, nilai *demand factor* pada bulan Mei-Juli 2025 ditunjukkan pada tabel 10-12.

Tabel 10. Demand Factor Bulan Mei 2025

Trafo	Kapasitas trafo Terpasang (kVA)	Kapasitas Daya ($kW = kVA \times 0,952$)	Beban Maksimum (kW)	Demand Factor (%)
Trafo 1 (E1105AH)	20.000,00	19.040,00	13.851,94	73%
Trafo 2 (E1119AH)	20.000,00	19.040,00	14.417,68	76%

Selisih *demand factor* sebesar 3% menunjukkan bahwa tingkat pemanfaatan kapasitas trafo 2 lebih tinggi dibandingkan dengan trafo 1. Kondisi ini dipengaruhi oleh dominasi beban proses berat pada trafo 2, seperti unit *KILN/Cooler*, *Raw Mill-2*, dan *Cement Mill-2*. Meskipun demikian, kedua trafo masih beroperasi dalam batas pemanfaatan yang aman terhadap kapasitas terpasang.

Tabel 11. Demand Factor Bulan Juni 2025

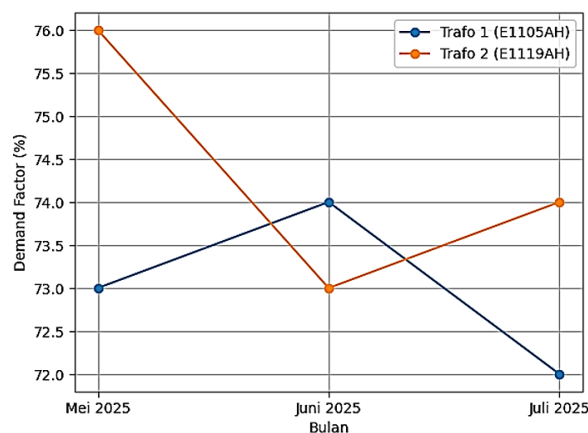
Trafo	Kapasitas trafo Terpasang (kVA)	Kapasitas Daya ($kW = kVA \times 0,952$)	Beban Maksimum (kW)	Demand Factor (%)
Trafo 1 (E1105AH)	20.000,00	19.100,00	14.107,58	74%
Trafo 2 (E1119AH)	20.000,00	19.100,00	13.869,90	73%

Selisih beban maksimum sebesar 237,678 kW menyebabkan nilai *demand factor* trafo 1 sedikit lebih tinggi. Secara umum, selisih *demand factor* antar trafo hanya 1% menunjukkan distribusi pembebanan relatif seimbang dan sistem masih beroperasi dalam kondisi stabil.

Tabel 12. Demand Factor Bulan Juli 2025

Trafo	Kapasitas trafo Terpasang (kVA)	Kapasitas Daya ($kW = kVA \times 0,958$)	Beban Maksimum (kW)	Demand Factor (%)
Trafo 1 (E1105AH)	20.000,00	19.160,00	13.723,29	72%
Trafo 2 (E1119AH)	20.000,00	19.160,00	14.123,00	74%

Variasi nilai *demand factor* antar trafo pada bulan Juli berada pada rentang 2%, yang menunjukkan bahwa distribusi pembebanan masih relatif seimbang dan sistem kelistrikan tetap beroperasi dalam kondisi stabil dengan margin kapasitas yang memadai. Perubahan dan perbandingan nilai tersebut juga ditunjukkan secara visual gambar grafik yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik *Demand Factor* Periode Mei-Juli 2025

Berdasarkan Gambar 6, nilai *demand factor* trafo 1 berada pada kisaran 72%-74%, sedangkan trafo 2 pada 73%-76% selama periode Mei-Juli 2025. Perubahan antar bulan relative kecil, dengan selisih antar trafo hanya 1-3%. Hal ini menunjukkan distribusi pembebanan yang seimbang dan sistem beroperasi stabil dengan margin kapasitas yang memadai.

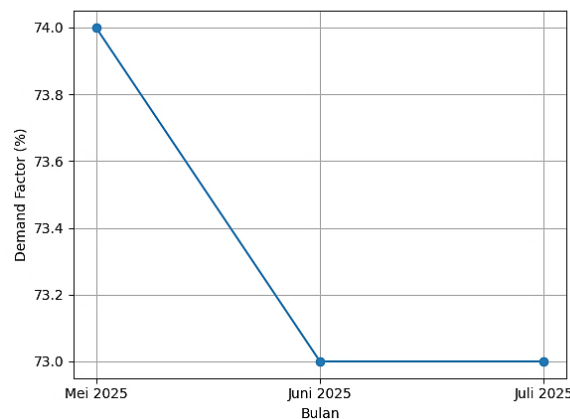
3.4. Demand Factor Global Sistem

Demand factor global sistem dihitung berdasarkan total beban maksimum terhadap kapasitas terpasang sebesar 40 MVA yang ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Demand Factor Global PT Semen Grobogan

Bulan	Beban Maksimum (kW)	Kapasitas Terpasang (kVA)	Kapasitas Daya Terpasang (kW)	Demand Factor (%)
MEI	28.269,62	40.000,00	38.080,00	74%
JUNI	27.977,48	40.000,00	38.200,00	73%
JULI	27.846,29	40.000,00	38.320,00	73%
Rata -Rata	28.031,13	40.000,00	38.200,00	73%

Selama periode Mei-Juli 2025, nilai *demand factor* berada pada kisaran 73%-74%. Nilai tertinggi terjadi pada Mei sebesar 74%, sedangkan pada bulan Juni dan Juli, relative stabil di 73% meskipun terjadi sedikit penurunan beban maksimum, perubahan tersebut ditunjukkan pada Gambar 7 dan mengindikasikan kestabilan pemanfaatan kapasitas sistem.



Gambar 7. Grafik *Demand Factor Global* Sistem Kelistrikan PT Semen Grobogan

Rata-rata demand factor global sebesar 73% menunjukkan bahwa kapasitas terpasang dimanfaatkan secara optimal. Mengacu pada kriteria sistem tenaga industri yaitu 60%-80%, nilai tersebut berada dalam kategori efisien dengan cadangan margin sekitar 27%.

3.5. Analisis Stabilitas dan Implikasi Operasional

Analisis stabilitas sistem menunjukkan bahwa selama periode Mei-Juli 2025 nilai *demand factor* trafo 1 berada pada kisaran 72%-74%, sedangkan trafo 2 pada kisaran 73%-76%. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa pemanfaatan kapasitas terpasang masing-masing trafo 20.000 kVA berada pada tingkat 72%-76%, dengan beban maksimum berkisar 13.700 kW-14.500 kW. Dengan demikian, masih tersedia margin kapasitas sekitar 23%-27% atau kurang lebih 4.300 kW-5.100 kW, sehingga risiko *overload* tergolong rendah.

Jika dibandingkan dengan kapasitas *nameplate* sebesar 31,5 MVA pada masing-masing trafo dan suplai kontraktual sistem sebesar 40 MVA, tingkat pemanfaatan aktual berada dibawah 50% terhadap kapasitas *nameplate*, sehingga secara teknis trafo tergolong *oversize*. Kondisi ini menunjukkan sistem dirancang dengan margin kapasitas yang cukup besar untuk menjaga keandalan dan mengantisipasi fluktuasi maupun pertumbuhan beban.

Variasi *demand factor* antar bulan relatif kecil kurang lebih sekitar 2%, menandakan fluktuasi beban terkendali dan operasi sistem stabil. Distribusi waktu operasi antar *feeder* yang tidak bersamaan turut mengurangi potensi pembebanan simultan pada trafo, sehingga membantu menjaga kestabilan dan menekan risiko stress termal. Secara keseluruhan, sistem kelistrikan PT Semen Grobogan berada dalam kondisi operasional yang stabil dan aman, dengan pemanfaatan kapasitas yang efisien. Rekomendasi pengelolaan difokuskan pada pemantauan *demand factor* secara periodik dan penerapan pemeliharaan preventif guna mempertahankan keandalan serta efisiensi sistem.

4. KESIMPULAN

1. Nilai *demand factor* global sistem kelistrikan PT Semen Grobogan selama periode Mei-Juli 2025 berada pada kisaran 73%-74%, dengan beban maksimum sistem sebesar 27.846 kW-28.269 kW terhadap kapasitas terpasang 40 MVA. Nilai tersebut menunjukkan tingkat pemanfaatan kapasitas yang efisien dan masih dalam batas ideal sistem kelistrikan industri.
2. *Demand factor* pada masing-masing trafo menunjukkan pola relatif seimbang dan stabil, dengan trafo 1 berada pada rentang 72%-74% dan trafo 2 pada 73%-76%. Selisih antar trafo tidak signifikan, sehingga distribusi pembebanan dapat dikategorikan terkendali.
3. Sistem kelistrikan berada dalam kondisi operasional yang stabil dengan margin kapasitas yang masih memadai, sehingga tidak diperlukan penambahan kapasitas trafo dalam jangka pendek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Energy Agency, I. (2025). *Energy Efficiency 2025*. www.iea.org
- [2] Andrijevska, J., & Volkova, A. (2025). Industrial energy use, efficiency, and savings: methods for quantitative analysis. *Energy Efficiency*, 18(7). <https://doi.org/10.1007/s12053-025-10367-5>
- [3] Shiau, Y. H., Yang, S. F., Adha, R., & Muzayyanah, S. (2022). Modeling Industrial Energy Demand in Relation to Subsector Manufacturing Output and Climate Change: Artificial Neural Network Insights. *Sustainability (Switzerland)*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/su14052896>
- [4] Schmitt, T., Mattsson, S., Flores-García, E., Hanson, L., Amouzgar, K., & Urenda Moris, M. (2026). Bridging the Industrial Energy Efficiency Gap: A Case Study of Targeting Energy Waste in Industrial Manufacturing. *Energies*, 19(4), 1058. <https://doi.org/10.3390/en19041058>
- [5] Tian, C., Li, J., Wang, C., Lin, L., & Yan, Y. (2024). Demand Response Strategy Considering Industrial Loads and Energy Storage with High Proportion of Wind-Power Integration. *Sensors*, 24(22). <https://doi.org/10.3390/s24227335>
- [6] Rojas-Innocenti, S., Baeyens, E., Martín-Crespo, A., Saludes-Rodil, S., & Frechoso, F. (2025). *A Comparative Analysis of Electricity Consumption Flexibility in Different Industrial Plant Configurations*. <http://arxiv.org/abs/2411.09279>
- [7] Voronin, V., Nepsha, F., & Ilyushin, P. (2025). A Demand Factor Analysis for Electric Vehicle Charging Infrastructure. *World Electric Vehicle Journal*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/wevj16090537>
- [8] Rivai Banjarnahor, J., Tanjung, A., Situmeang, U., & Yos Sudarso Rumbai, J. (2022). Studi Efisiensi Konsumsi Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit PT. Perawang Agro Sejahtera (PAS) Perawang. *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, 7(1), 16–22.
- [9] Zhou, K., Hu, D., Hu, R., & Zhou, J. (2023). High-resolution electric power load data of an industrial park with multiple types of buildings in China. *Scientific Data*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02786-9>
- [10] Ibn Batouta, K., Aouhassi, S., & Mansouri, K. (2023). Energy efficiency in the manufacturing industry A tertiary review and a conceptual knowledge-based framework. In *Energy Reports* (Vol. 9, pp. 4635–4653). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.03.107>