

Pengaruh Variasi Daya Terpasang dan Pengembangan Indikator Kinerja Energi untuk Solusi Rumah Hemat Energi

Endang Widayati¹, Sulardi¹, Supriyanto Sikumbang²

¹ Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Ketenagalistrikan Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Jakarta Timur, Indonesia

² Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Jakarta Selatan, Indonesia

Email: endangwidayati4@gmail.com

ABSTRAK

Sektor bangunan, khususnya rumah dan perumahan, memiliki potensi efisiensi energi yang besar namun sering terabaikan, padahal bangunan menyumbang sekitar 30% dari konsumsi energi global dan hampir 28% dari emisi CO₂. Permasalahan utama adalah minimnya penggunaan indikator kinerja energi (IKE) sebagai alat ukur efisiensi pada sektor perumahan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kapasitas daya listrik (kVA) dengan konsumsi energi listrik, serta mengembangkan IKE sebagai acuan *benchmarking* efisiensi energi pada rumah tinggal. Metode penelitian dilakukan melalui analisis data konsumsi listrik pada berbagai variasi langganan daya listrik, kemudian menghitung dua indikator IKE, yaitu kWh/m²-tahun dan rasio kWh-bulan/kVA. Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan signifikan antara variasi daya kVA dengan konsumsi energi listrik. Nilai IKE kWh-bulan/kVA masing-masing adalah 321 (1,3 kVA), 455 (2,2 kVA), 490 (3,3 kVA), dan 521 (6,6 kVA). Sedangkan nilai IKE kWh/m²-tahun diperoleh 50 (1300 VA), 80 (2200 VA), 97 (3300 VA), dan 118 (6600 VA). Temuan ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menilai apakah suatu rumah atau perumahan telah memanfaatkan energi secara efisien atau masih boros. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis bagi perencanaan energi perumahan serta menjadi dasar pengambilan keputusan untuk program konservasi energi di sektor bangunan.

Kata kunci: Indikator Kinerja Energi (IKE), efisiensi energi, langganan daya listrik, perumahan

ABSTRACT

The building sector, particularly residential housing, holds significant energy efficiency potential yet is often overlooked, despite accounting for approximately 30% of global energy consumption and nearly 28% of CO₂ emissions. The main issue lies in the limited use of energy performance indicators (EPI) as a tool for assessing residential energy efficiency. This study aims to analyze the relationship between electrical power capacity (kVA) and energy consumption, as well as to develop relevant EPIs as benchmarks for residential energy efficiency. The research method involves analyzing electricity consumption data across various power subscription

levels, followed by calculating two EPI metrics: kWh/m²-year and the kWh-month/kVA ratio. The results show a significant correlation between kVA variations and energy consumption. The kWh-month/kVA values are 321 (1.3 kVA), 455 (2.2 kVA), 490 (3.3 kVA), and 521 (6.6 kVA). Meanwhile, the kWh/m²-year values are 50 (1300 VA), 80 (2200 VA), 97 (3300 VA), and 118 (6600 VA). These indicators serve as benchmarks to determine whether a house or housing complex is energy-efficient or wasteful. This study provides practical contributions for residential energy planning and offers a reference framework for energy conservation initiatives in the building sector.

Keywords: *Energy Performance Indicators (EnPIs), energy efficiency, installed capacity, residential*



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International

PENDAHULUAN

Energi adalah fondasi utama pembangunan ekonomi dan kesejahteraan global. Namun, ketergantungan masif pada sumber energi fosil telah menimbulkan dampak negatif serius, seperti kelangkaan sumber daya, fluktuasi harga, dan krisis iklim yang diperparah oleh emisi gas rumah kaca (Ürge-Vorsatz et al., 2020). Di tengah tantangan ini, efisiensi energi muncul sebagai solusi fundamental dalam strategi keberlanjutan, efektif dalam mengurangi konsumsi, menghemat biaya, dan memitigasi dampak lingkungan (Gielen et al., 2019; IEA, 2023).

Sektor bangunan, khususnya rumah dan perumahan, memegang potensi efisiensi energi yang sangat besar, meskipun sering terabaikan. Data menunjukkan bahwa bangunan, termasuk hunian, menyumbang sekitar 30% dari konsumsi energi global dan hampir 28% dari emisi CO₂ terkait energi (IEA, 2023). Peningkatan efisiensi di sektor ini berpotensi besar untuk menghemat energi secara signifikan, menciptakan dampak ekonomi positif melalui pengurangan tagihan listrik dan penciptaan lapangan kerja hijau, memberikan manfaat lingkungan dengan mengurangi emisi, meningkatkan kenyamanan dan kesehatan penghuni, serta memperkuat ketahanan energi nasional (D'Agostino et al., 2017).

Untuk mewujudkan potensi tersebut, studi indikator kinerja energi (IKE) menjadi sangat krusial sebagai acuan atau benchmarking. Indikator kinerja energi pada bangunan rumah atau perumahan menjadi langkah awal untuk melihat apakah rumah atau perumahan tersebut termasuk kategori efisien atau boros energi (IEA, 2023; Corgnati et al., 2018; Lucon et al., 2021; Yohanis, 2019). Dengan IKE yang terstandarisasi, pengembang dan pemilik rumah dapat secara objektif mengukur, membandingkan, dan mengevaluasi kinerja energi properti mereka terhadap standar yang ditetapkan, data historis, atau rata-rata bangunan sejenis. IKE tidak hanya berfungsi sebagai alat diagnostik untuk mengidentifikasi area inefisiensi, tetapi juga memfasilitasi pengambilan keputusan investasi yang tepat dalam peningkatan efisiensi, serta mendorong inovasi dalam desain, material, dan teknologi bangunan (Sartor et al., 2022). Studi IKE ini sangat penting untuk mengidentifikasi langkah-langkah efisiensi energi yang paling efektif, misalnya dengan membandingkan konsumsi energi rumah dengan dan tanpa isolasi dinding, atau sebelum dan sesudah penggantian peralatan hemat energi (Mendell &

Heath, 2021; Santamouris, 2020; Zhang et al., 2020). Analisis ini memberikan data konkret yang mendukung kebijakan, insentif, dan edukasi publik yang lebih terarah dan berdampak signifikan pada upaya efisiensi energi di perumahan (Delmastro et al., 2016; Hammad et al., 2021; Huo et al., 2023; Tuhus-Dubrow et al., 2023). Adanya benchmarking melalui IKE memberikan insentif yang jelas bagi semua pihak untuk mencapai target efisiensi energi yang lebih ambisius, menyediakan gambaran transparan mengenai sejauh mana sebuah bangunan telah mengoptimalkan penggunaan energinya dan berkontribusi pada tujuan keberlanjutan. Oleh karena itu, studi indikator kinerja energi pada rumah atau perumahan menjadi hal yang sangat penting untuk dilakukan di Indonesia (Ascione et al., 2017; Fabbri et al., 2022).

Meskipun potensi efisiensi energi di sektor perumahan sangat jelas, implementasinya masih menghadapi berbagai tantangan, seperti kurangnya kesadaran, hambatan finansial, dan regulasi yang belum komprehensif (Ma et al., 2022). Diperlukan pendekatan holistik yang melibatkan kebijakan pemerintah yang kuat, inovasi teknologi, insentif finansial yang menarik, dan edukasi publik yang berkelanjutan untuk memastikan rumah dan perumahan dapat sepenuhnya berperan sebagai garda terdepan dalam mencapai tujuan efisiensi energi nasional dan global (Roux et al., 2020).

Rahman et al. (2013) mengkaji konsumsi energi residensial menggunakan indikator intensitas energi (EUI), dan menemukan beragam faktor pengendali seperti ukuran rumah dan perilaku penghuni yang mempengaruhi konsumsi aktual dibandingkan dengan estimasi teoretis. Meskipun begitu, penelitian ini belum menekankan pada hubungan antara kapasitas pemasok daya (kVA) dan konsumsi listrik secara langsung, apalagi menghubungkannya dengan indikator kinerja energi (IKE) yang dapat digunakan sebagai baseline efisiensi. Sementara itu, studi pada sektor residensial Amerika Serikat menggunakan data survei nasional (RECS) untuk menentukan benchmark EUI dan intensitas energi yang menjadi acuan kebijakan, namun kurang mengaitkannya dengan kapasitas pelanggan individual seperti variasi kVA yang relevan di konteks pasar Indonesia.

Tujuan kajian ini adalah untuk mencari hubungan antara KVA dengan konsumsi energi listrik dengan m² luas area atau Gross Floor Area (GFA) atau indikator kinerja energi lainnya yang relevan sehingga diperoleh Intensitas Konsumsi Energi (IKE) yang dapat digunakan sebagai baseline atau benchmarking. Manfaatnya mencakup dasar data untuk kebijakan konservasi energi, alat unggul bagi pengembang dan penghuni dalam mengevaluasi konsumsi, dan dukungan bagi penyusunan regulasi dan insentif efisiensi energi di sektor perumahan Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode survei untuk mengumpulkan data variasi daya terpasang (VA) dan konsumsi energi listrik (kWh) pada sampel perumahan. Data yang terkumpul kemudian akan dianalisis untuk memperoleh rasio antara variasi daya terpasang dengan konsumsi energi listrik, yang dapat menjadi indikator awal efisiensi energi.

Desain Penelitian

Desain penelitian ini adalah deskriptif-kuantitatif dengan survei silang (cross-sectional survei), di mana data dikumpulkan pada satu waktu tertentu dari berbagai unit perumahan. Tujuannya adalah untuk menggambarkan fenomena hubungan antara daya terpasang dan konsumsi energi.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini Adalah seluruh unit perumahan yang terhubung dengan jaringan listrik di wilayah studi yang ditentukan (misalnya, satu kota, satu kecamatan, atau klaster perumahan tertentu). Pengambilan sampel akan dilakukan secara acak bertingkat (stratified random sampling) atau cluster sampling untuk memastikan representasi yang baik dari berbagai kategori daya terpasang (misalnya, 1300 VA, 2200 VA, 3300 VA dan 6600 VA).

Variabel Penelitian

Variabel Independen

Daya Tersambung (VA): Kategori daya listrik terpasang pada masing-masing rumah tangga (misalnya, 1300 VA, 2200 VA, 3500 VA, 4400 VA, dst.). Data ini dapat diperoleh dari informasi meteran listrik atau tagihan listrik.

Variabel Dependen

Konsumsi Energi Listrik (kWh/m²/tahun): Jumlah energi listrik yang dikonsumsi oleh rumah tangga dalam periode waktu tertentu (misalnya, per bulan). Data ini akan dikumpulkan dari tagihan listrik bulanan selama periode minimal 6-12 bulan untuk melihat pola konsumsi.

Metode Pengumpulan Data

Data akan dikumpulkan melalui dua cara utama:

Survei Kuesioner: Kuesioner akan didistribusikan kepada responden (pemilik/penghuni rumah) untuk mengumpulkan informasi demografi, karakteristik rumah (ukuran, jumlah kamar), jenis peralatan elektronik utama yang dimiliki, kebiasaan penggunaan listrik, dan persetujuan untuk mengakses data tagihan listrik.

Pengambilan Data Sekunder: Data daya tersambung (VA) dan konsumsi energi listrik (kWh) bulanan akan dikumpulkan dari tagihan listrik responden.

Metode Analisis Data

Data yang terkumpul akan diolah dan dianalisis menggunakan perangkat lunak statistik Langkah-langkah analisis meliputi:

Statistik Deskriptif

Menghitung frekuensi dan persentase untuk kategori daya terpasang.

Menghitung rata-rata, median, standar deviasi untuk konsumsi energi listrik per kVA.

Melihat distribusi konsumsi energi per m²/tahun kategori daya.

Perhitungan Rasio Variasi Daya dengan kWh

Untuk setiap kategori daya terpasang (VA), hitung rata-rata konsumsi kWh per bulan. Kemudian, hitung rasio kWh/VA untuk setiap kategori daya. Rasio ini akan menunjukkan seberapa efisien konsumsi energi relatif terhadap daya terpasang yang disediakan. Analisis rasio ini akan menjadi indikator awal untuk mengidentifikasi apakah ada perbedaan efisiensi penggunaan energi antar kategori daya.

Analisis Regresi

Jika ingin melihat seberapa besar pengaruh daya terpasang terhadap konsumsi kWh, Uji Komparatif (ANOVA): Untuk membandingkan rata-rata rasio kWh/m²/tahun antar kategori daya terpasang yang berbeda.

Visualisasi Data

Menggunakan grafik batang atau box plot untuk menampilkan distribusi konsumsi kWh per kategori daya terpasang.

Membuat scatter plot untuk melihat hubungan antara daya terpasang dan konsumsi kWh, serta plotting rasio yang diperoleh.

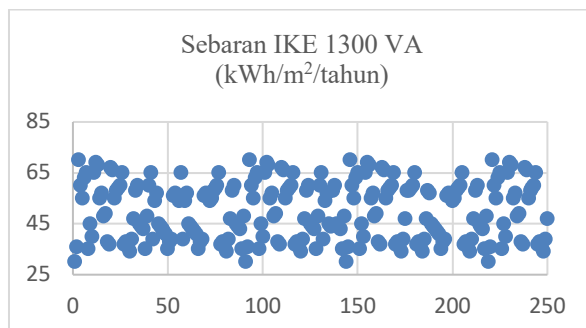
Tujuan Kajian yang Diharapkan

Deskripsi pola konsumsi energi listrik pada berbagai kategori daya terpasang perumahan. Nilai rasio konsumsi energi (kWh) per satuan daya terpasang (kVA) untuk setiap kategori per m² GFA. Identifikasi kategori daya yang menunjukkan potensi efisiensi atau inefisiensi berdasarkan rasio yang diperoleh. Rekomendasi awal untuk program efisiensi energi yang lebih terarah berdasarkan temuan rasio ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) terhadap Variasi Daya Listrik

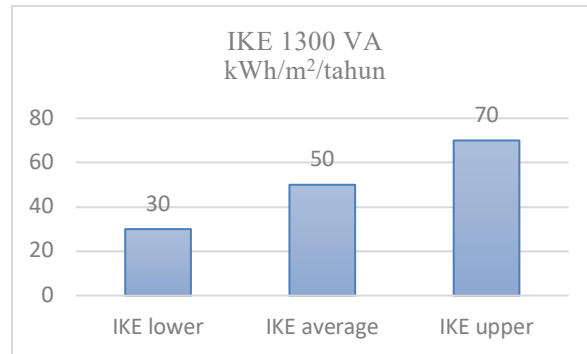
Sebaran IKE pada populasi sampel untuk Variasi Daya 1300 VA seperti pada Gambar Grafik 1.



Gambar 1. Sebaran IKE pada Populasi Sampel Variasi Daya 1300 VA.

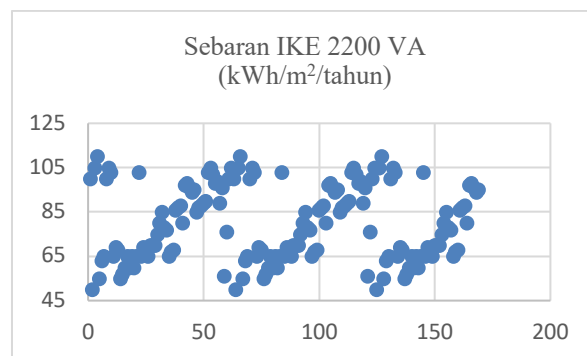
Berdasarkan Gambar 1 diperoleh nilai IKE minimal 30 kWh/m²/tahun, nilai IKE average 50 kWh/m²/tahun dan nilai IKE maksimal 70 kWh/m²/tahun. Hal ini menunjukkan

peluang atau potensi penghematan energi dengan menggunakan nilai IKE average sebagai referensi memiliki peluang yang besar. Hal ini dapat diperjelas pada Gambar 2.



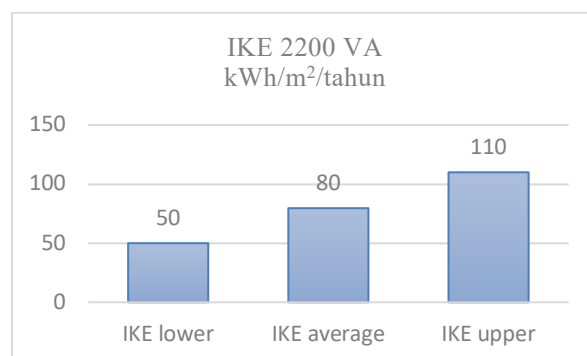
Gambar 2. Grafik IKE pada 1300 VA

Sebaran IKE pada populasi sampel untuk Variasi Daya 2200 VA seperti pada Gambar Grafik 3.



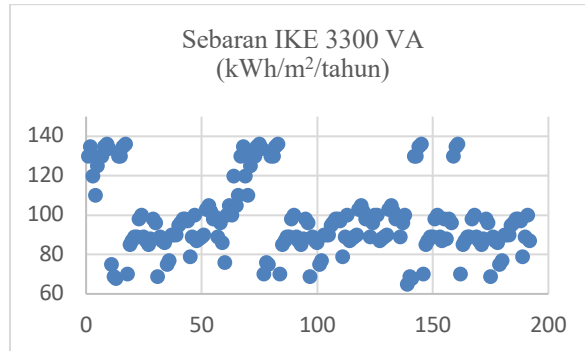
Gambar 3. Sebaran IKE pada Populasi Sampel Variasi Daya 2200 VA.

Berdasarkan Gambar 3 diperoleh nilai IKE minimal 50 kWh/m²/tahun, nilai IKE average 80 kWh/m²/tahun dan nilai IKE maksimal 110 kWh/m²/tahun. Hal ini menunjukkan peluang atau potensi penghematan energi dengan menggunakan nilai IKE average sebagai referensi memiliki peluang yang besar. Hal ini dapat diperjelas pada Gambar 4.



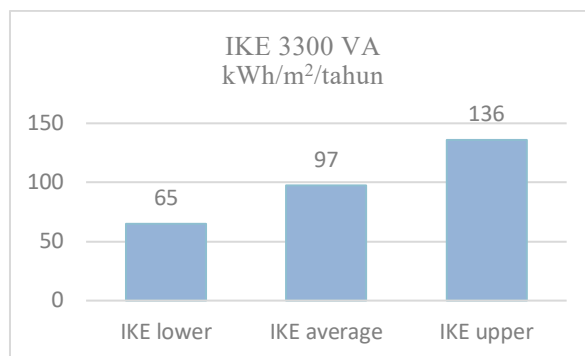
Gambar 4. Grafik IKE pada 2200 VA

Sebaran IKE pada populasi sampel untuk Variasi Daya 3300 VA seperti pada Gambar 5.



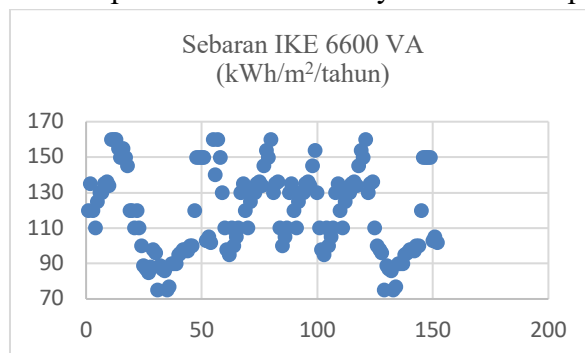
Gambar 5. Sebaran IKE pada Populasi Sampel Variasi Daya 3300 VA.

Berdasarkan Gambar 5 diperoleh nilai IKE minimal 65 kWh/m²/tahun, nilai IKE average 97 kWh/m²/tahun dan nilai IKE maksimal 136 kWh/m²/tahun. Hal ini menunjukkan peluang atau potensi penghematan energi dengan menggunakan nilai IKE average sebagai referensi memiliki peluang yang besar. Hal ini dapat diperjelas pada Gambar 6.



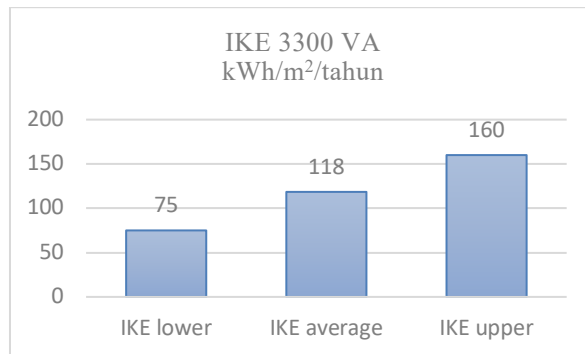
Gambar 6. Grafik IKE pada 3300 VA

Sebaran IKE pada populasi sampel untuk Variasi Daya 6600 VA seperti pada Gambar 7.



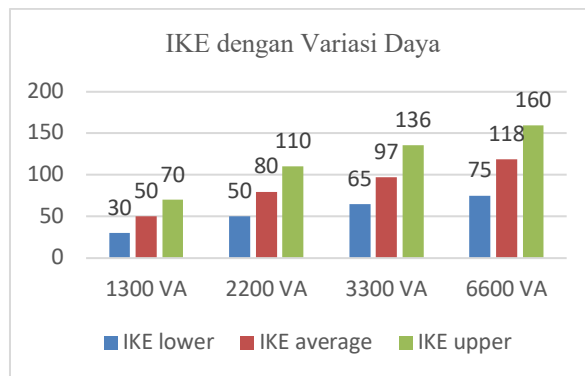
Gambar 7. Sebaran IKE pada Populasi Sampel Variasi Daya 6600 VA

Berdasarkan Gambar 7 diperoleh nilai IKE minimal 75 kWh/m²/tahun, nilai IKE average 118 kWh/m²/tahun dan nilai IKE maksimal 160 kWh/m²/tahun. Hal ini menunjukkan peluang atau potensi penghematan energi dengan menggunakan nilai IKE average sebagai referensi memiliki peluang yang besar. Hal ini dapat diperjelas pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik IKE pada 3300 VA

Adapun nilai IKE pada berbagai variasi daya dijelaskan pada Gambar 9.

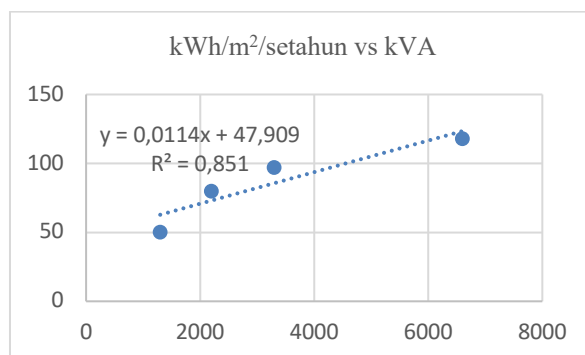


Gambar 9. Grafik IKE dengan Variasi Daya

Berdasarkan Gambar 9. terlihat bahwa makin besar Variasi Daya makin besar nilai IKE (kWh/m²/tahun).

Korelasi antara Variasi Daya dengan IKE (kWh/m²/tahun)

Korelasi antara Variasi Daya dengan IKE (kWh/m²/tahun) digambarkan pada persamaan regresi yaitu $Y = 0,0114 X + 47,909$ dengan $R^2 = 0,851$, dengan Y adalah IKE dan X adalah variasi daya. Hal ini dijelaskan pada Gambar 10.



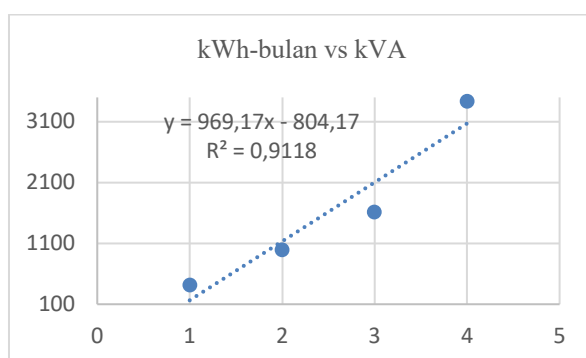
Gambar 10. Grafik Hubungan IKE dengan Variasi Daya

Pada Gambar 10. terlihat bahwa nilai R^2 0,851. Ini menunjukkan bahwa 85,1% IKE dipengaruhi oleh Variasi Daya.

Indikator Kinerja Energi

Indikator kinerja energi yang dikembangkan berupa rasio antara nilai rerata kWh/bulan dari setiap variasi langganan daya listrik dengan variasi langganan daya listrik (kVA) dari seluruh populasi sampel pada kajian ini.

Sebelum rasio ditentukan perlu diketahui korelasi antara kWh/bulan dengan kVA. Korelasi antara kWh/bulan dengan kVA dijelaskan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik kWh-bulan vs kVA

Pada grafik Gambar 11 terlihat bahwa 91,19% konsumsi energi listrik (kWh-bulan) dipengaruhi oleh kVA. Berdasarkan kajian tersebut diperoleh rasio kWh-bulan dengan kVA yang dapat dijadikan sebagai acuan pengembangan efisiensi energi di sektor perumahan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Rasio kWh-bulan/kVA

Langganan Daya	IKE
1,3	321
2,2	455
3,3	490
6,6	521

Sumber: Peneliti

KESIMPULAN

Dari hasil kajian ini dapat dinyatakan bahwa terhadap hubungan yang signifikan antara variasi daya kVA dengan konsumsi energi listrik pada sektor perumahan. Selain itu dari kajian ini diperoleh dua indikator kinerja energi yang dikembangkan yaitu kWh/m²-tahun pada tiap variasi langganan daya listrik perumahan dan rasio kWh-bulan/kVA yaitu untuk 1,3 kVA IKE 321, 2,2 kVA IKE 455, 3,3 kVA 490 dan 6,6 kVA 521. Untuk indikator kinerja energi kWh/m²-tahun diperoleh IKE 50 untuk 1300 VA, IKE 80 untuk 2200 VA, IKE 97 untuk 3300 VA dan IKE 118 untuk 6600 VA. Nilai IKE ini akan dapat digunakan sebagai referensi atau

benchmarking apakah perumahan atau rumah sudah efisien dalam pemanfaatan energinya atau masih boros.

REFERENSI

- Alqahtani, A., & Balta-Ozkan, N. (2021). A Comprehensive Review Of Residential Energy Consumption And Its Influencing Factors. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 141, 110793. (Disitasi Dalam *Frontiers In Energy Research*, 2023).
- Council Of Europe Development Bank. (2020). Improving Energy Efficiency In Housing: Why Evaluation Matters. Retrieved From https://Coebank.Org/Media/Documents/Improving_Energy_Efficiency_Why_Evaluation_Matters_Web.Pdf
- Chung, W. (2011). Performance Measurement Of Sustainable Buildings: A Review Of Current Approaches And Future Challenges. *Building And Environment*, 46(11), 2113-2122
- ENHR (European Network For Housing Research). (2023). Energy Efficiency And Environmental Sustainability Of Housing. Retrieved From <https://Enhr.Net/Energy-Efficiency-And-Environmental-Sustainability-Of-Housing/>
- FTMM Unair. (2024, November 11). Efisiensi Energi: Strategi Kunci Menuju Masa Depan Bersih Dan Berkelanjutan. Retrieved From <https://Ftmm.Unair.Ac.Id/Efisiensi-Energi-Strategi-Kunci-Menju-Masa-Depan-Bersih-Dan-Berkelanjutan/>
- IEA (International Energy Agency). (2023). Energy Efficiency 2023: Analysis And Key Findings. IEA Publications.
- IEA (International Energy Agency). (2024). Energy Efficiency - Energy System. Retrieved From <https://Www.Iea.Org/Energy-System/Energy-Efficiency-And-Demand/Energy-Efficiency>
- ISO 50001:2018. Energy Management Systems — Requirements With Guidance For Use. International Organization For Standardization.
- Kementerian ESDM Republik Indonesia. (2022). Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2020-2029.
- Neuroject. (2023, August 24). Importance Of Energy Efficiency In Buildings. Retrieved From <https://Neuroject.Com/Energy-Efficiency-In-Buildings/>
- Pelsmakers, S., & Elwell, C. (2020). Developing Simple Performance Indicators For Energy Use In UK Dwellings Using Smart Meter Data. *Energy And Buildings*, 207, 109614.
- Prosiding SENDI_U. (2019). Hubungan Antara Besarnya Daya Listrik Terpasang Dengan Banyaknya Pemakaian Listrik Dalam Skala Rumah Tangga. Retrieved From https://Www.Unisbank.Ac.Id/Ojs/Index.Php/Sendi_U/Article/View/7403/2385
- Shi, X., & Chew, I. A. (2020). A Review Of Building Energy Performance Indicators And Their Application In Energy Efficiency Assessment. *Journal Of Cleaner Production*, 276, 124230..
- Zheng, X., Et Al. (2024). Research On Energy Consumption In Household Sector: A Comprehensive Review Based On Bibliometric Analysis. *Frontiers In Energy Research*, 12, 1209290. (Disitasi Dalam *Frontiers In Energy Research*, 2023).