

Analisis Efisiensi Energi Bangunan Fasilitas Kesehatan Tropis dengan Autodesk Revit: Studi Kasus Puskesmas Alianyang

Sabrina Aliyyah Putri Maharanı ¹, Zairin Zain ², Mira S. Lubis ³

¹ Mahasiswa, Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.

² Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.

³ Jurusan Perencanaan Wilayah Kota, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.

Email korespondensi: d1031201035@student.untan.ac.id

Abstrak

Bangunan fasilitas kesehatan dikenal memiliki konsumsi energi tinggi karena aktivitas operasional yang berlangsung terus-menerus. Pada iklim tropis lembap seperti Pontianak, sistem pendingin ruangan menjadi beban dominan untuk menjaga kenyamanan termal. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi performa energi Puskesmas Alianyang melalui simulasi berbasis *Building Information Modelling* (BIM). Pemodelan dilakukan menggunakan Autodesk Revit 2022 yang terintegrasi dengan Autodesk Insight, dengan pendekatan kuantitatif deskriptif dan mengacu pada prototipe standar puskesmas rawat inap. Parameter simulasi disesuaikan dengan data iklim lokal dari *Green Building Studio* untuk menghitung konsumsi energi tahunan, Intensitas Konsumsi Energi (IKE), serta distribusi beban energi per sistem. Hasil simulasi menunjukkan konsumsi energi tahunan puskesmas didominasi beban pendinginan akibat panas yang masuk melalui kaca dan dinding. Analisis ruang mengungkap bahwa ruang dengan okupansi tinggi, seperti ruang tunggu dan pemeriksaan, memiliki beban pendinginan paling besar. Temuan ini menegaskan pentingnya strategi desain pasif, khususnya pengendalian radiasi matahari dan peningkatan kinerja selubung bangunan, sebagai dasar perancangan puskesmas hemat energi di iklim tropis.

Kata-kunci : desain pasif, efisiensi energi, bangunan kesehatan, BIM, simulasi energi

Pengantar

Sektor bangunan merupakan salah satu penyumbang terbesar konsumsi energi global. Berdasarkan data dari *United Nations Environment Programme* (2018), bangunan menyumbang sekitar 40% konsumsi energi dunia, 25% konsumsi air, dan 40% penggunaan sumber daya alam. Di Indonesia, sebagian besar energi digunakan oleh sistem tata udara (HVAC) dan pencahayaan. Penelitian oleh Ruliyanta, et al. (2023) menunjukkan bahwa HVAC dapat menyumbang sekitar 78–81 %, sementara pencahayaan sekitar 19–22 % dari total konsumsi energi gedung di iklim tropis Indonesia.

Puskesmas sebagai fasilitas kesehatan tingkat pertama di Indonesia memiliki operasional yang kontinyu dan padat. Di Kota Pontianak yang beriklim tropis tembab, bangunan puskesmas sangat

bergantung pada sistem pendingin dan penerangan buatan, sehingga berpotensi menimbulkan pemborosan energi apabila tidak dirancang secara efisien. Oleh karena itu, perencanaan dan evaluasi performa energi pada bangunan puskesmas menjadi hal yang sangat penting dalam mendukung pembangunan berkelanjutan dan penghematan sumber daya.

Dalam merespon permasalahan tersebut, pendekatan berbasis *Building Information Modelling* (BIM) menjadi strategi baru dalam proses desain dan analisis performa bangunan. BIM memungkinkan integrasi data geometrik dan non-geometrik dalam model digital 3D untuk keperluan simulasi dan evaluasi performa energi secara menyeluruh (Eastman et al., 2011). Di antara *software* yang mendukung untuk melakukan simulasi energi adalah Autodesk Revit.

Penelitian ini memanfaatkan simulasi berbasis BIM untuk mengevaluasi performa energi bangunan Puskesmas Alianyang yang dirancang mengikuti prototipe standar bangunan puskesmas rawat inap. Fokus penelitian adalah menyusun simulasi *baseline* guna memperoleh data konsumsi energi tahunan bangunan serta distribusi beban pendinginan berdasarkan sistem dan zona ruang. Data tersebut menjadi dasar kuantitatif untuk memahami elemen penyumbang beban tertinggi, sekaligus sebagai referensi awal dalam pengembangan desain efisien energi pada fasilitas kesehatan di iklim tropis.

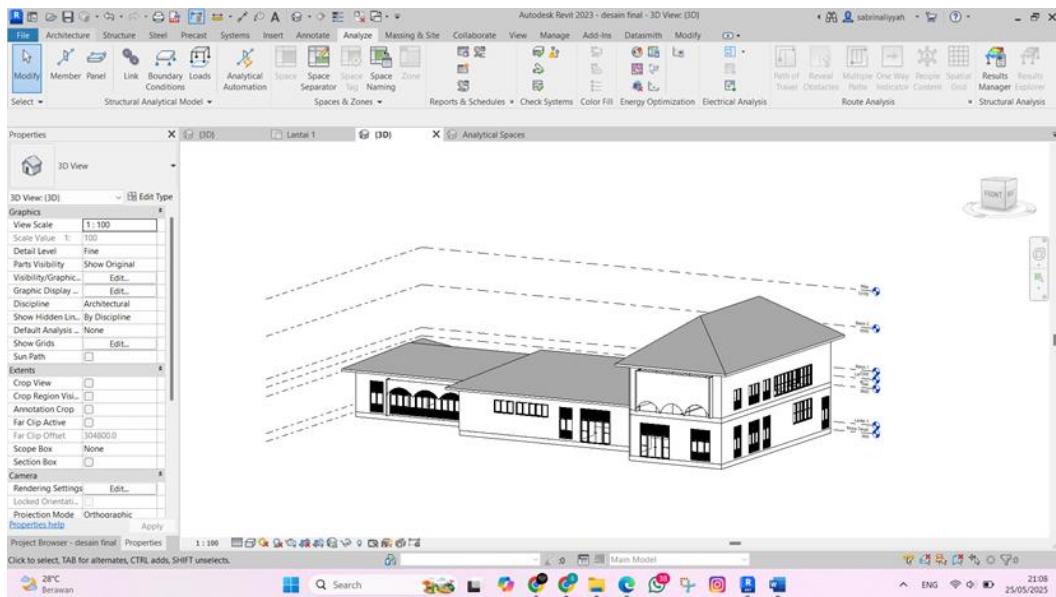
Berbeda dengan studi efisiensi energi sebelumnya yang banyak berfokus pada gedung perkantoran atau bangunan pendidikan, penelitian ini secara khusus menyoroti fasilitas kesehatan tropis dengan menggunakan prototipe standar puskesmas yang berlaku nasional. Studi energi berbasis BIM di puskesmas tropis belum pernah dilaporkan, padahal fasilitas kesehatan memiliki beban energi unik dibanding gedung lain. Sehingga kontribusi orisinal penelitian ini terletak pada pemanfaatan simulasi BIM untuk memetakan konsumsi energi *baseline* puskesmas di iklim khatulistiwa, sehingga menghasilkan data kuantitatif awal yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan puskesmas berkelanjutan di Indonesia dan kawasan tropis serupa. Studi ini dibatasi pada analisis elemen pasif tanpa melibatkan sistem mekanikal eksisting karena keterbatasan data operasional. Temuan penelitian dapat menjadi acuan perancangan puskesmas berkelanjutan di wilayah khatulistiwa, sekaligus memperkaya penerapan BIM untuk bangunan publik di Indonesia.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode simulasi digital berbasis *Building Information Modelling* (BIM). Tujuan utamanya adalah mengevaluasi konsumsi energi tahunan bangunan Puskesmas Alianyang sebagai *baseline* performa energi. Objek penelitian adalah bangunan Puskesmas Alianyang di Kota Pontianak, yang dirancang mengikuti prototipe puskesmas rawat inap dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Lokasi ini berada pada zona iklim tropis lembap yang sangat memengaruhi kinerja termal bangunan.

Pemodelan Bangunan

Proses pemodelan bangunan dalam penelitian ini dilakukan secara digital menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit 2022. Model tiga dimensi (3D) disusun berdasarkan dokumen teknis arsitektural Puskesmas Alianyang yang telah ada. Model ini dibangun secara akurat untuk merepresentasikan kondisi eksisting bangunan secara geometris dan fungsional.



Gambar 1. Gambar model 3D Puskesmas Alianyang
Sumber: Diolah oleh penulis, 2025.

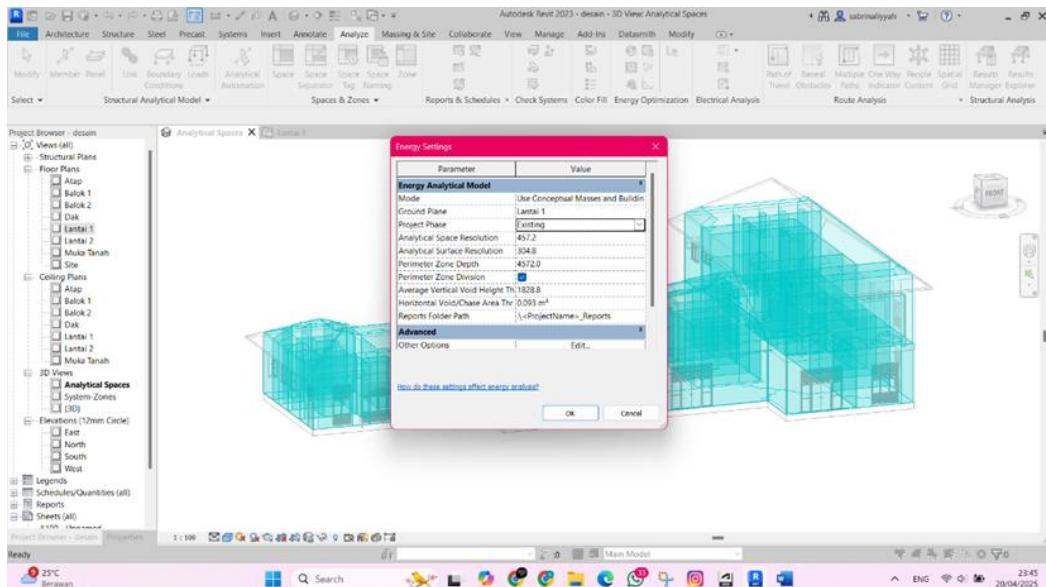
Pemodelan mencakup seluruh elemen arsitektural utama, yaitu dinding luar dan dalam, struktur atap, jenis dan lapisan lantai, serta elemen bukaan seperti jendela dan pintu. Selain itu, seluruh ruang dalam bangunan dikelompokkan ke dalam zona fungsional yang sesuai dengan pembagian ruang pelayanan Kesehatan. Zonasi tersebut digunakan sebagai dasar pembentukan *analytical space* dalam proses simulasi energi, yang memungkinkan perangkat lunak mengidentifikasi kebutuhan beban termal secara spesifik di tiap fungsi ruang.

Model Revit yang telah selesai kemudian disiapkan untuk simulasi energi dengan memastikan bahwa seluruh parameter geometris, orientasi bangunan, serta elemen konstruksi memiliki informasi yang valid dan terhubung secara semantik. Pemodelan ini menjadi fondasi utama dalam proses analisis performa energi, karena kualitas dan akurasi data model akan sangat mempengaruhi hasil simulasi yang dihasilkan oleh sistem.

Penentuan Parameter Simulasi

Langkah selanjutnya adalah menyusun dan menyesuaikan parameter simulasi energi yang diperlukan. Penyesuaian ini bertujuan untuk memastikan bahwa model digital tidak hanya representatif secara geometris, tetapi juga mencerminkan kondisi operasional dan lingkungan nyata yang akan mempengaruhi performa energi bangunan. Parameter utama yang diatur meliputi lokasi geografis proyek, spesifikasi sistem bangunan, serta properti termal dari material selubung bangunan.

Simulasi Energi Puskesmas Alianyang Pontianak Menggunakan Autodesk Revit



Gambar 2. Gambar input parameter 3D Model Puskesmas Alianyang

Sumber: Diolah oleh penulis, 2025.

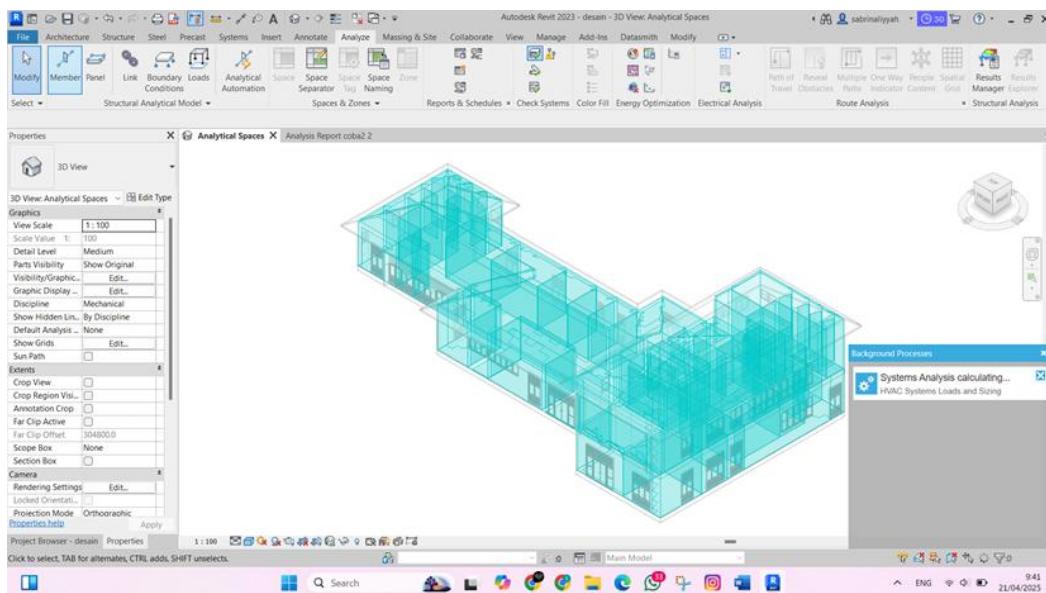
Lokasi proyek disesuaikan dengan posisi geografis sebenarnya, yaitu di Kota Pontianak, Kalimantan Barat. Pemilihan lokasi ini penting karena Autodesk Insight akan secara otomatis menarik data iklim dari server Green Building Studio berbasis lokasi tersebut, termasuk informasi suhu udara tahunan, kelembapan, radiasi matahari, dan arah angin. Data ini menjadi dasar perhitungan beban termal dan kebutuhan energi dalam simulasi.

Pengaturan sistem bangunan mengacu pada standar baseline yang ditetapkan oleh Insight, yaitu standar ASHRAE 90.1, yang menyediakan konfigurasi sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*), pencahayaan, serta peralatan internal (*plug load*) secara *default*. Sistem ini mencerminkan kondisi umum operasional bangunan publik dan digunakan dalam simulasi untuk menjaga konsistensi antar proyek.

Karakteristik material bangunan disesuaikan dengan spesifikasi *prototype* puskesmas yang digunakan secara nasional. Material dinding diasumsikan menggunakan pasangan bata tanpa insulasi, atap menggunakan struktur metal ringan tanpa pelapis termal, lantai beton konvensional, serta bukaan berupa kaca bening polos tanpa perlindungan tambahan seperti film Low-E atau shading eksternal. Konfigurasi ini mewakili kondisi awal (*baseline*) dari bangunan yang belum diintervensi secara desain untuk efisiensi energi.

Simulasi Energi

Simulasi energi dilakukan menggunakan pendekatan digital berbasis *Building Information Modelling* (BIM) yang terintegrasi dalam perangkat lunak Autodesk Revit 2022 dengan dukungan fitur Insight. Setelah model bangunan selesai dibuat dan parameter simulasi disesuaikan, *Energy Analytical Model* (EAM) dikonfirmasi untuk mengkonversi model geometrik menjadi bentuk analitis yang dapat dihitung oleh mesin simulasi. Model ini memetakan seluruh elemen bangunan ke dalam bentuk-bentuk ideal seperti ruang, permukaan, serta zona energi, yang kemudian diolah oleh sistem perhitungan energi berbasis cloud milik Autodesk, yaitu *Green Building Studio*.



Gambar 3. Gambar simulasi energi 3D Model Puskesmas Alianyang
Sumber: Diolah oleh penulis, 2025.

Simulasi energi dilakukan dengan mengatur *energy settings* di Revit. Zona ruang atau *analytical space* secara otomatis dibentuk oleh sistem berdasarkan konfigurasi dan pembagian ruang dalam model Revit. Tiap zona dianggap sebagai unit analisis independen dalam proses simulasi. Sistem kemudian melakukan proses perhitungan berbasis iklim setempat, konfigurasi geometri bangunan, serta properti material yang telah dimasukkan sebelumnya.

Output simulasi energi mencakup total konsumsi energi tahunan (kWh) yang menunjukkan efisiensi bangunan berdasarkan konsumsi energi per meter persegi per tahun. Selain itu, Insight membagi konsumsi energi ke dalam tiga sistem utama: HVAC, pencahayaan, dan peralatan. Untuk analisis mendalam, juga ditampilkan *cooling load components* yang merinci sumber beban pendinginan seperti konduksi, radiasi matahari, serta beban internal dari penghuni, pencahayaan, dan peralatan. Seluruh data disajikan dalam bentuk kuantitatif dan grafik visual. Penelitian ini hanya memodelkan satu skenario baseline untuk merepresentasikan kondisi desain awal tanpa intervensi sistem, material, atau orientasi.

Unit Amatan dan Teknik Analisis

Unit amatan dalam penelitian ini adalah *analytical space*, yaitu ruang-ruang fungsional yang secara otomatis dibentuk oleh sistem Autodesk Insight berdasarkan pembagian ruang dalam model Revit. Masing-masing ruang memiliki parameter konsumsi energi tersendiri, termasuk beban puncak (*peak load*) dan komponen-komponen beban pendinginan yang menyertainya. Pembagian *analytical space* disesuaikan dengan fungsi aktual ruang di dalam Puskesmas Alianyang. Tiap ruang ini menjadi titik analisis untuk mengetahui karakteristik termal dan sumber beban energi dominan yang mempengaruhi performa ruang tersebut.

Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan menyajikan data simulasi berupa tabel, grafik, dan diagram. Analisis mencakup konsumsi energi tahunan, IKE, distribusi beban per sistem (HVAC, *lighting*, *equipment*), serta komposisi *cooling load* berdasarkan elemen bangunan. Pendekatan tersebut memungkinkan identifikasi awal terhadap ruang dengan beban pendinginan tertinggi dan elemen bangunan yang menyumbang panas sehingga dapat menjadi dasar untuk

pertimbangan kebutuhan energi aktual bangunan dan mendukung pengembangan desain hemat energi ke depan.

Hasil Analisis dan Pembahasan

Konsumsi Energi Tahunan dan Intensitas Energi (IKE)

Berdasarkan hasil simulasi energi baseline menggunakan Autodesk Revit, diketahui bahwa total konsumsi energi tahunan bangunan Puskesmas Alianyang mencapai 466.186 kilowatt-jam (kWh). Nilai ini merupakan akumulasi dari konsumsi energi seluruh sistem bangunan dalam satu tahun operasional penuh, termasuk kebutuhan untuk pendinginan ruang, pencahayaan, dan peralatan medis maupun administratif. Dengan luas bangunan sebesar 785,69 meter persegi (m^2), maka diperoleh nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) sebesar 593,3 kWh/ m^2 /tahun.

Nilai IKE tersebut menunjukkan bahwa bangunan masih tergolong memiliki konsumsi energi yang tinggi, terutama jika dibandingkan dengan standar efisiensi energi yang ditetapkan oleh ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) dan EBTKE (Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi), yang merekomendasikan nilai IKE ideal untuk bangunan pelayanan kesehatan berada dalam kisaran 250 hingga 400 kWh/ m^2 per tahun. Kelebihan konsumsi energi ini dapat diinterpretasikan sebagai indikasi bahwa desain dan karakter bangunan belum sepenuhnya mampu merespons kondisi iklim lokal secara optimal.

Faktor-faktor penyebab tingginya IKE kemungkinan besar berkaitan dengan karakter material selubung bangunan yang belum memiliki isolasi termal memadai, luasnya bukaan kaca tanpa pengendalian radiasi, serta tingginya beban pendinginan akibat iklim tropis lembap khas Kota Pontianak yang terletak tepat di garis khatulistiwa. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya evaluasi performa energi sejak tahap perencanaan dan perancangan awal, khususnya untuk bangunan fasilitas publik seperti puskesmas yang memiliki jam operasional panjang dan aktivitas tinggi sepanjang hari.

Distribusi Konsumsi Energi

Berikut merupakan rincian *end use* berdasarkan hasil simulasi.

Tabel 1. Tabel *End Use* 3D Model Puskesmas Alianyang

Fungsi	Konsumsi Energi (kWh)
Cooling	381.403
Interior Lighting	36.336
Interior Equipment	48.447
Total	466.186

Hasil simulasi energi menunjukkan bahwa konsumsi energi bangunan Puskesmas Alianyang didominasi secara signifikan oleh sistem pendingin. Dari total energi tahunan sebesar 466.186 kWh, sebesar 381.403 kWh atau setara dengan 81,8% digunakan untuk kebutuhan pendinginan ruang (*cooling*). Angka ini menunjukkan bahwa sebagian besar energi bangunan terserap oleh sistem tata udara guna menjaga kenyamanan termal dalam ruang, yang sangat dipengaruhi oleh iklim tropis lembap di Kota Pontianak. Hal tersebut menandakan bahwa beban termal dari lingkungan luar—yang ditransmisikan melalui konduksi, radiasi matahari, dan infiltrasi udara panas—memiliki pengaruh yang besar terhadap performa energi bangunan secara keseluruhan.

Selain pendinginan, energi juga digunakan untuk peralatan dalam ruang (*interior equipment*) sebesar 48.447 kWh, atau sekitar 10,4% dari total energi tahunan. Beban tersebut berasal dari peralatan

medis, elektronik, dan operasional administratif yang digunakan secara rutin sepanjang jam kerja puskesmas. Sementara itu, sistem pencahayaan (*interior lighting*) menyumbang sebesar 36.336 kWh, atau 7,8%, yang mencerminkan kebutuhan penerangan ruang-ruang pelayanan, terutama yang tidak sepenuhnya mendapat pencahayaan alami.

Komposisi tersebut menunjukkan bahwa meskipun peralatan dan pencahayaan memiliki kontribusi terhadap konsumsi energi, sistem pendingin tetap menjadi penyumbang utama beban energi dalam operasional bangunan. Dominasi tersebut memperkuat urgensi untuk melakukan evaluasi terhadap elemen-elemen bangunan yang berkaitan langsung dengan pengendalian panas, seperti kaca, dinding, atap, serta aspek orientasi dan bukaan, guna menurunkan ketergantungan pada sistem mekanis pendingin udara.

Komposisi *Cooling Load Components*

Berikut merupakan rincian total komposisi *cooling load components* berdasarkan hasil simulasi.

Tabel 2. Tabel *Cooling Load Components* 3D Model Puskesmas Alianyang

Komponen	Percentase (%)
<i>Conduction</i>	40
<i>Solar</i>	23
<i>People</i>	13
<i>Lights</i>	12
<i>Equipments</i>	8
Lainnya	4

Analisis hasil simulasi energi menunjukkan bahwa beban pendinginan bangunan Puskesmas Alianyang berasal dari berbagai komponen yang secara kumulatif membentuk kebutuhan sistem pendingin dalam mempertahankan kenyamanan termal ruang. Komponen utama yang menyumbang beban pendinginan terbesar adalah konduksi panas melalui elemen bangunan (*conduction*), dengan kontribusi sebesar 40% dari total *cooling load*. Konduksi tersebut terjadi ketika panas dari luar ruangan ditransmisikan melalui dinding, atap, dan permukaan bangunan lainnya yang tidak memiliki perlindungan termal seperti insulasi. Karena material selubung bangunan pada desain awal menggunakan elemen seperti dinding bata dan atap metal tanpa pelapis isolatif, maka panas dari luar mudah masuk kedalam ruang, sehingga meningkatkan beban yang harus ditanggung oleh sistem pendingin.

Komponen kedua terbesar adalah *solar gain*, yaitu radiasi matahari langsung yang masuk ke dalam bangunan melalui bukaan kaca, dengan kontribusi sebesar 23%. Radiasi tersebut terjadi terutama pada bukaan tanpa perlindungan seperti shading atau penggunaan kaca dengan performa termal rendah. Pada kondisi seperti tersebut, sinar matahari yang menembus kaca akan meningkatkan suhu dalam ruangan secara signifikan, khususnya pada jam-jam puncak di siang hari. Kombinasi antara jenis kaca bening biasa dan luas bukaan yang cukup besar menyebabkan transfer panas radiasi menjadi salah satu sumber utama beban pendinginan.

Beban berikutnya berasal dari aktivitas penghuni (13%), pencahayaan (12%), dan peralatan dalam ruang (8%), sedangkan sisanya (4%) berasal dari beban minor seperti infiltrasi udara dan konveksi. Aktivitas penghuni dan penggunaan lampu serta peralatan elektronik secara kontinu meningkatkan suhu ruang, terutama di area dengan okupansi tinggi. Secara keseluruhan, beban pendinginan didominasi oleh panas dari luar (konduksi dan radiasi), namun beban internal juga memberi dampak signifikan dan perlu dikelola secara seimbang untuk menurunkan konsumsi energi sistem pendingin.

Pengaruh Elemen Bangunan Terhadap Beban Pendinginan

Berikut merupakan rincian total kontribusi elemen terhadap beban pendinginan.

Tabel 3. Tabel Pengaruh Elemen Bangunan 3D Model Puskesmas Alianyang

Komponen	Persentase (%)
Kaca	38
Dinding	28
Atap	18
Slab dan lantai	10
Lainnya	6

Hasil simulasi energi pada model Puskesmas Alianyang juga menganalisis kontribusi masing-masing elemen penyusun bangunan terhadap beban panas internal yang kemudian menjadi beban bagi sistem pendingin. Analisis dilakukan berdasarkan persentase kontribusi elemen terhadap *total cooling load*. Hasilnya menunjukkan bahwa elemen kaca (*glass*) merupakan penyumbang panas terbesar, yaitu sebesar 38%. Kontribusi tersebut berasal dari dua mekanisme utama, yaitu konduksi panas langsung melalui permukaan kaca dan radiasi matahari (*solar gain*) yang menembus bukaan tanpa proteksi termal seperti shading atau lapisan reflektif. Penggunaan kaca bening standar tanpa teknologi pemantul panas menyebabkan ruang dalam menyerap radiasi secara langsung, terutama pada sisi bangunan yang menghadap timur dan barat.

Elemen dinding (*wall*) memberikan kontribusi terbesar kedua terhadap beban panas, yaitu sebesar 28%. Dinding eksterior bangunan, yang sebagian besar terbuat dari material bata tanpa lapisan insulasi, memungkinkan terjadinya konduksi panas dari luar ke dalam ruang secara kontinu. Apabila dinding terpapar langsung sinar matahari dalam waktu lama, maka suhu permukaannya akan meningkat dan mentransfer panas secara perlahan ke dalam ruangan. Hal tersebut secara kumulatif meningkatkan suhu ruang, terutama di ruang-ruang dengan orientasi langsung terhadap matahari sore dan siang hari.

Atap menyumbang 18% dari beban panas bangunan akibat konduksi panas dari material metal ringan yang menyerap panas matahari secara signifikan. Slab dan lantai menyumbang 10%, terutama dari konduksi permukaan bawah. Sisanya, 6% berasal dari elemen lain seperti partisi, plafon dan infiltrasi udara. Temuan ini menegaskan bahwa selubung bangunan memiliki peran kunci terhadap performa energi, dengan kaca dan dinding sebagai prioritas utama pengendalian beban panas melalui desain pasif dan pemilihan material yang tepat.

Diskusi

Hasil simulasi menunjukkan sistem pendingin mendominasi konsumsi energi (81,8%), sejalan dengan studi di Malaysia yang melaporkan HVAC menyumbang 45–63% energi rumah sakit (Mohammad et al., 2014; Mohd Din, 2020) dan penelitian di Meksiko yang mencatat pendinginan mencapai 40–66% konsumsi listrik fasilitas medis (May Tzuc et al., 2023). Persentase yang lebih tinggi di Puskesmas Alianyang menunjukkan beban pendinginan yang lebih berat dibandingkan rata-rata internasional.

Kontributor utama beban panas adalah konduksi (40%) dan radiasi matahari melalui kaca (23%), dengan elemen kaca menyumbang 38%, diikuti dinding (28%) dan atap (18%). Hal tersebut menegaskan peran penting selubung bangunan. Temuan tersebut sejalan dengan Ruliyanta et al. (2023) yang menyoroti pengaruh rasio bukaan dan material kaca terhadap konsumsi energi bangunan tropis. Strategi desain pasif seperti *shading*, *low-emissivity glass*, dan insulasi dapat menjadi solusi utama. Selain itu, beban internal dari penghuni (13%), pencahayaan (12%), dan peralatan (8%) juga

signifikan, konsisten dengan studi pada rumah sakit di Malaysia (Mohd Din, 2020). Artinya, efisiensi operasional seperti pengaturan peralatan medis, pencahayaan, dan manajemen ruang juga berperan dalam pengendalian energi.

Kontribusi utama penelitian ini adalah penyediaan data baseline konsumsi energi berbasis BIM pada prototipe standar puskesmas tropis di Indonesia, yang masih jarang dikaji dalam literatur, berbeda dengan fokus umum pada gedung komersial atau pendidikan (Nguyen et al., 2014; Santamouris & Vasilakopoulou, 2021). Adapun keterbatasan penelitian ini terletak pada penggunaan satu skenario baseline tanpa optimasi desain, belum diperhitungkannya data operasional detail, serta potensi kesalahan pemodelan 3D dan input parameter. Oleh karena itu, riset lanjutan perlu mencakup *multi-scenario simulations*, integrasi dengan *simulation-based optimization*, serta validasi lapangan untuk meningkatkan akurasi.

Kesimpulan

Penelitian ini mengevaluasi performa energi bangunan Puskesmas Alianyang menggunakan simulasi baseline berbasis BIM di Autodesk Revit. Hasil simulasi menunjukkan konsumsi energi yang tinggi, dengan dominasi beban dari sistem pendingin akibat kontribusi panas signifikan dari kaca, dinding, dan atap melalui konduksi serta radiasi matahari. Temuan ini menegaskan bahwa selubung bangunan merupakan faktor kunci dalam efisiensi energi pada fasilitas kesehatan di iklim tropis lembap.

Kontribusi utama penelitian ini adalah menghadirkan pemetaan kuantitatif konsumsi energi berbasis BIM pada prototipe standar puskesmas di Indonesia, sebuah topik yang relatif jarang dikaji dalam literatur. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkaya diskursus akademik terkait penerapan BIM pada bangunan publik tropis, tetapi juga memberikan dasar praktis bagi perumusan strategi desain pasif yang relevan, seperti penggunaan material berinsulasi, *low-emissivity glass*, dan sistem *shading*. Hasil penelitian ini dapat menjadi pijakan awal bagi pengambil kebijakan, perancang, dan akademisi dalam mengembangkan standar desain puskesmas hemat energi di wilayah khatulistiwa.

Daftar Pustaka

- United Nations Environment Programme (UNEP). (2018). Global Status Report 2018: Towards a Zero-Emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector.
- Direktorat Jenderal EBTKE. (2017). Pedoman Teknis Bangunan Gedung Hemat Energi. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors (2nd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470261309>
- May Tzuc, O., Peña López, G., Huchin Miss, M., Andrade Durán, J. E., Chan González, J. J., Lezama Zárraga, F., & Jiménez Torres, M. (2023). Improving thermo-energetic consumption of medical center in Mexican hot-humid climate region: Case study of San Francisco de Campeche, Mexico. *Applied Sciences*, 13(22), 12444. <https://doi.org/10.3390/app132212444>
- Mohammad, M., Hashim, H., & Abdullah, M. P. (2014). Building energy index and end-use energy analysis in large-scale hospitals—Case study in Malaysia. *Energy Efficiency*, 7(2), 243–256. <https://doi.org/10.1007/s12053-013-9221-y>
- Mohd Din, A. (2020). An overview of energy performance and load apportioning trends in a selected Malaysian government hospital. *Journal of Architecture, Planning and Construction Management*, 10(2), 16–29. Retrieved from <https://journals.iium.edu.my/kaed/index.php/japcm/article/view/505>
- Nguyen, A. T., Reiter, S., & Rigo, P. (2014). A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Applied Energy*, 113, 1043–1058. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.061>
- Ruliyanta, R., Setyadi, W., & Kusumoputro, R. A. S. (2023). Comparison of variation in the building shapes and the window-to-wall ratio by concerning energy consumption for thermal comfort and lighting. *Teknometrik*, 6(2), 136–147. <https://doi.org/10.24036/teknometrik.v6%E2%80%91i2/246>
- Santamouris, Mat & Vasilakopoulou, Konstantina. (2021). Present and Future Energy Consumption of Buildings: Challenges and Opportunities towards Decarbonisation. e-Prime. 1. 100002. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100002>