

IDENTIFIKASI PENGARUH BENTUK DESAIN BANGUNAN TERHADAP INTENSITAS KONSUMSI ENERGI MELALUI METODE SIMULASI KOMPUTASIONAL SEFAIRA

Qurrotul A'yun^{1*}

Prodi Arsitektur, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Ampel, Surabaya, Indonesia¹

E-mail: *qurrotul_ayun@uinsby.ac.id

Diajukan: 29 Januari 2023

Ditinjau: 16 Februari 2023

Diterima: 21 November 2023

Diterbitkan: 12 Desember 2023

Abstrak Para era saat ini, objek arsitektur tidak hanya dituntut untuk estetis dan fungsional namun juga hemat secara energi. Tidak terkecuali pada objek berjenis tempat tinggal atau residensial. Residensial menjadi objek yang membutuhkan kenyamanan beraktivitas dalam kontes suhu ruangan dan tingkat pencahayaan, dengan tetap memperhatikan tingkat konsumsi energinya. Terdapat sejumlah faktor yang mempengaruhi nilai konsumsi energi pada desain bangunan. Diantaranya bentuk denah bangunan dan volume ruangan, arah hadap bangunan, bahan selubung bangunan; serta bentuk jendela. Oleh karena itu, dibutuhkan bentuk desain bangunan yang tepat untuk mencapai nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) sesuai dengan yang dipersyaratkan oleh Peraturan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Tahun 2012. *Performance-Based Design* dapat menjadi salah satu pendekatan untuk menyelesaikan persoalan ini. *Performance-Based Design* merupakan sebuah pendekatan desain yang mempertimbangkan performa dari setiap elemen bangunan. *Sefaira* adalah salah satu perangkat lunak (*software*) dari *Performance-Based Design*. *Sefaira* mampu mensimulasikan penggunaan energi pada suatu desain, dengan terlebih dahulu memasukkan data iklim serta data-data elemen bangunan. Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa desain bangunan yang dikategorikan efisien dengan IKE mencapai 95-145 kWh/m²/tahun, jika bentukan geometri bangunan memiliki banyak sisi atau mengarah ke bentuk lengkung, proporsi antar sisi yang sama atau jika sedikit memanjang, bangunan berorientasi arah hadap ke barat dan timur, mengurangi selubung material *glazing*, serta penggunaan shading *external venetian*.

Kata kunci : Desain Bangunan; Efisiensi Energi; Rumah Tinggal *Sefaira*; Simulasi

Abstract Currently, architectural items need to be energy efficient in addition to being aesthetically pleasing and practical. Residential or residential-type objects are not exempt. Residential buildings need to be kept at comfortable temperatures and with appropriate lighting while also being mindful of their energy usage. The importance of energy usage in building design depends on several aspects. These include the building's orientation, the material of the building envelope, the shape of the window, and the building plan and room volume. In order to attain the Energy Consumption Intensity (IKE) value required by the 2012 Regulations of the Ministry of Education and Culture and the Ministry of Energy and Mineral Resources, a suitable form of building design is therefore necessary. *Performance-Based Design* is one method that could be used to address this issue. A design methodology known as "performance-based design" takes into account each architectural element's performance. One piece of performance-based design software is *Sefaira*. To simulate energy use in a design, one must first enter building element and climate data into *Sefaira*. According to the research findings, a building design is considered efficient with an IKE if it satisfies the following criteria: (1) the building's geometric shape leads to a curved shape or has many sides; (2) the building's proportions are the same or, if it is slightly elongated, it is oriented towards the west and east; (3) the building reduces the amount of glazing material coverings; and (4) the building uses external Venetian shading.

Keywords : Building Design; Energy Efficiency; Residential; *Sefaira*; Simulation

PENDAHULUAN

Arsitektur tropis menjadi sebuah konsep rancangan arsitektur yang berupaya mencari solusi dari karakter spesifik iklim (Karyono, 2016). Salah satu sasaran dalam perancangan arsitektur tropis adalah menghemat penggunaan energi pada bangunan. (Handayani, 2010) menyebutkan bahwa saat ini, di dalam perancangan bangunan, tidak hanya dibutuhkan desain yang estetis dan fungsional, namun juga mampu meminimalkan penggunaan energi khususnya dalam menjawab adanya isu mengenai pemanasan global. Apalagi sektor bangunan menyumbang konsumsi energi sebesar 40% dari total konsumsi energi dunia (Octarino & Feriadi, 2021).

Bangunan-bangunan di negara beriklim tropis, memiliki variabel yang amat beragam untuk mencapai efisiensi energi, jika dilihat dari macam sektor penggunaannya. (Santoso, 2012) Dominasi besarnya penggunaan energi pada bangunan adalah pada banyaknya peralatan pendingin ruang untuk mencapai kenyamanan pada suhu yang dibutuhkan (Goswami & Kreith, 2007). Sistem tata cahaya pun menjadi kontributor atas penggunaan energi terbesar kedua setelah sistem tata udara (Milianingrum, 2015). Hal ini senada dengan yang disampaikan oleh (Hanum & Murod, 2011) bahwa pemborosan energi dari segi penghawaan dan pencahayaan akan dapat dikurangi, apabila fasade bangunan didesain dengan tepat. Kolaborasi antara desain pasif dan aktif dalam perancangan fasad bangunan sangat diperlukan dalam hal ini (Dimas. Tubagus A. et al., 2011). Fasad merupakan bagian elemen terluar bangunan yang dapat mempengaruhi efisiensi energi. (Alhamnovanda et al., 2019)

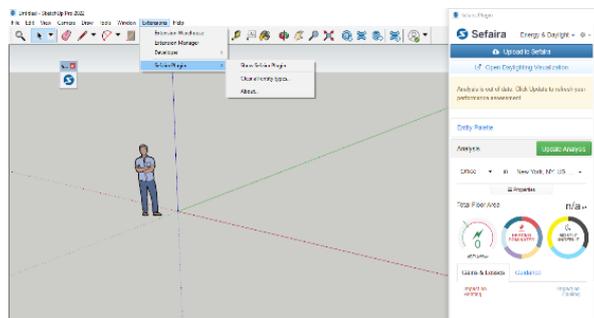
Desain bangunan dalam konteks efisiensi energi, menurut Handayani (2010), terdiri atas beberapa faktor yaitu: (1) bentuk denah bangunan dan volume ruangan; (2) arah hadap bangunan; (3) bahan selubung bangunan; serta (4) bentuk jendela. Banyaknya faktor yang mempengaruhi desain fasad dalam konteks efisiensi energi, memerlukan formulasi yang tepat dalam mencapai performa terbaiknya. Dalam tahapan proses mendesain, arsitek dapat bereksplorasi melalui media komputasi. Simulasi komputasi ini bertujuan untuk melihat performa bangunan (Putra, 2018).

Penelitian dengan menggunakan simulasi *computational* telah banyak dilakukan, *Sefaira* sering digunakan dalam sejumlah penelitian yang terkait dengan optimalisasi energi baik di skala bangunan rumah tinggal (Sidik et al., 2021), (Hanissaa & Paramita, 2021), bangunan pendidikan (Wibawa et al., 2021), bangunan perkantoran (Amalia et al., 2020), (Laksmiyanti, 2016), atau bahkan bangunan dengan fungsi khusus seperti museum (Abdurrahman Rabbani & Cahyani, 2019), serta gereja (Nabilah et al., 2021). Dari serangkaian penelitian terdahulu yang telah disebutkan di atas, hampir semuanya cenderung menguji efisiensi energi atas bangunan yang sudah ada dan terbangun. Sedangkan penelitian ini cenderung membahas tentang dasar-dasar elemen untuk merancang, agar bisa menghasilkan desain yang efisien secara konsumsi energi sesuai standar IKE.

Penelitian kali ini membahas mengenai eksplorasi terhadap elemen-elemen selubung bangunan, untuk mencapai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) terbaik sesuai dengan yang telah distandarkan dalam Peraturan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Tahun 2012 (Menteri, 2012). Peraturan tersebut membahas beberapa Pedoman Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik. Salah satunya melalui IKE. IKE merupakan sejumlah nilai yang didapat dari pembagian antara jumlah konsumsi energi listrik pada kurun waktu tertentu dengan satuan luas bangunan yang ada. Terdapat 6 kategori di dalam IKE yaitu sangat efisien, efisien, cukup efisien, agak boros, boros dan sangat boros. Bangunan dikategorikan efisien di dalam penggunaan energinya jika IKE mencapai 95-145 kWh/m²/tahun.

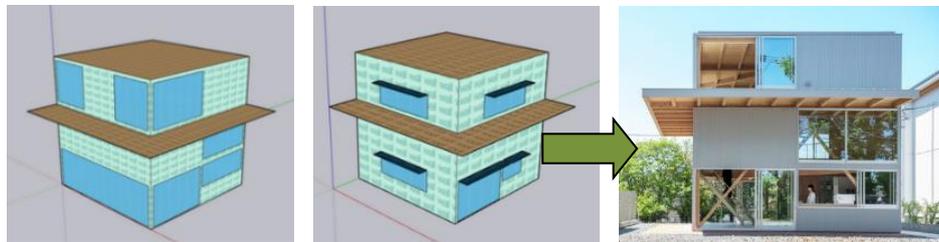
METODE

Metode yang digunakan adalah metode simulasi. Metode simulasi (Harrell & Price, 2003) didefinisikan sebagai sebuah metode penelitian yang menggunakan sistem pemodelan komputer. Metode ini bertujuan untuk mencari gambaran dari suatu kondisi melalui sebuah replika sistem berskala kecil atau sederhana (model). Dalam mendukung proses simulasi ini, penelitian menggunakan peranti lunak (*software*) *sefaira*. *Sefaira* merupakan sebuah *tool plugin* yang diinstal di *sketchup* sebagai sebuah alat gambar secara digital untuk mengetahui kinerja dari sebuah desain. Hal tersebut ditunjukkan dalam Gambar 1. Akan tetapi berbeda dengan *sketchup*, tampilan desain bangunan di dalam *software sefaira* cenderung jauh lebih sederhana untuk mempermudah proses simulasi. Perbedaan tampilan antara *sketchup* dan *sefaira* ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Software Plugin Sefaira di dalam Google Sketchup

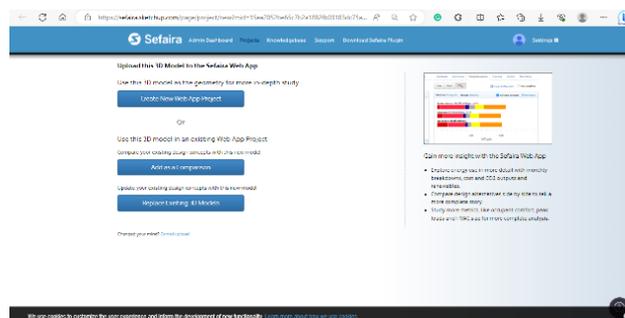
Sumber: Penulis, 2023



Gambar 2. Tampilan Sefaira dalam menerjemahkan objek arsitektural

Sumber: Penulis, 2023

Sefaira ini dapat membantu arsitek mengetahui seberapa besar energi yang dihasilkan pada desain yang dirancang. Untuk memaksimalkan fungsinya, penggunaannya diintegrasikan dengan *sefaira web tools*. Tampilan dari dengan *sefaira web tools* bisa dilihat pada Gambar 3.

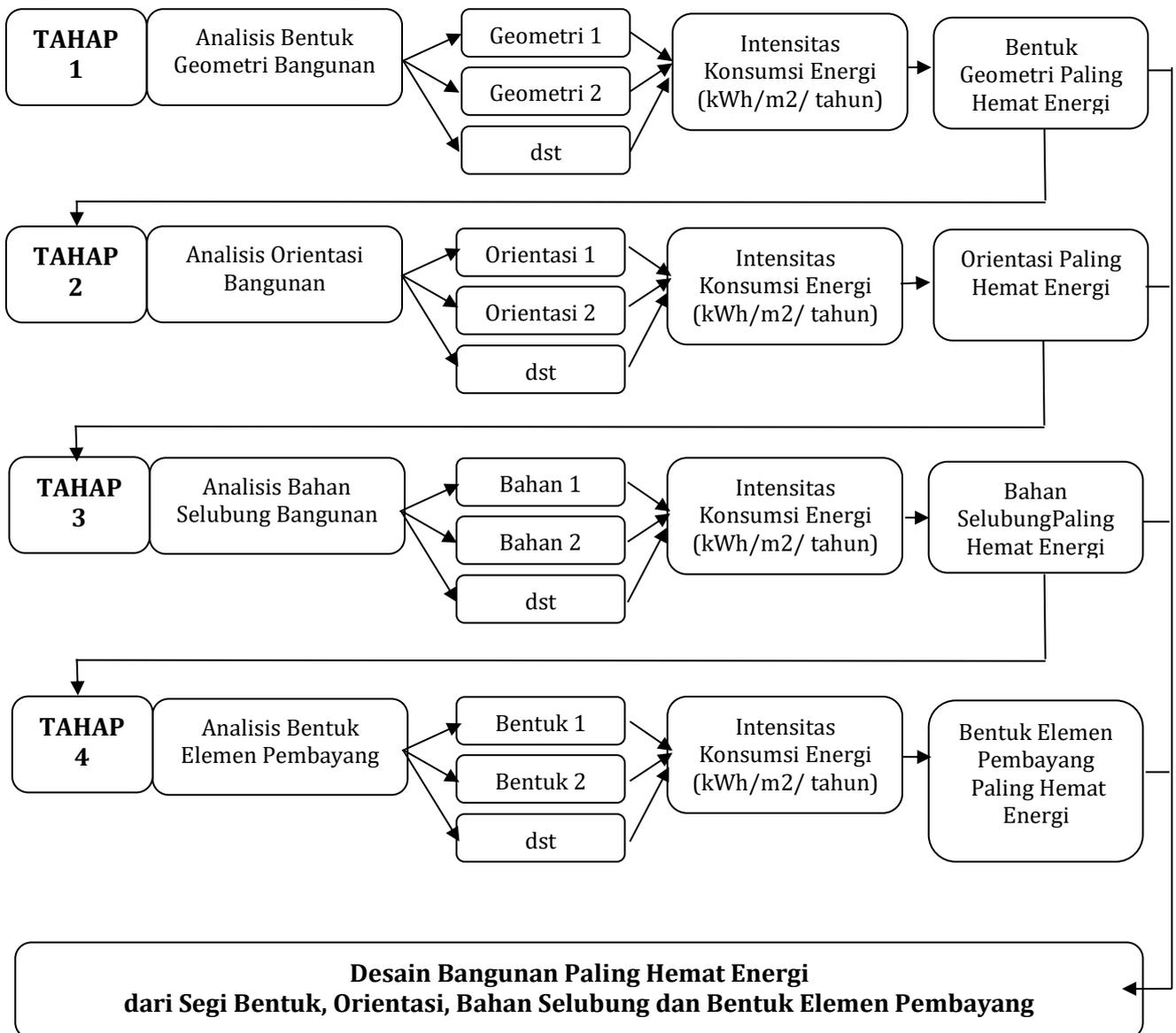


Gambar 3. Tampilan Sefaira Web Tools

Sumber: Penulis, 2023

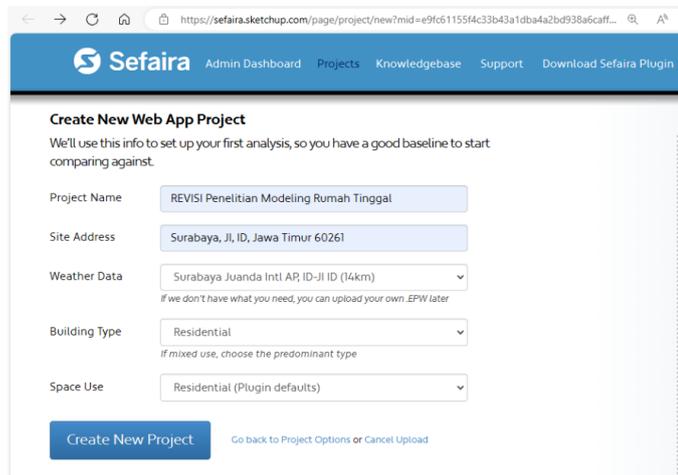
Penelitian ini berupaya untuk mencari hubungan sebab akibat dari variabel bebas dengan variabel terikat. Variabel tetapnya adalah Intensitas Konsumsi Energi dengan satuan kWh/m²/tahun, sedangkan variabel bebasnya terdiri atas 4 variabel, yaitu : (1) bentuk geometri bangunan; (2) arah hadap / orientasi bangunan; (3) bahan selubung bangunan; serta (4) bentuk elemen pembayang pada bukaan. Luaran dari penelitian ini adalah menemukan bentuk desain bangunan terbaik dari keempat parameter di atas, yang paling minim konsumsi energinya serta masuk dalam standar Intensitas Konsumsi Energi (IKE) yang ditetapkan.

Analisis dari keempat variabel bebas tersebut dilakukan secara bertahap, dengan memfiltrasi hasil terbaik dari sebuah analisis, untuk dilanjutkan ke analisis berikutnya. Peta konsep pemikiran dari penelitian ini ditunjukkan pada Bagan 1.



Bagan 1. Peta Konsep Pemikiran dalam Penelitian
Sumber: Penulis, 2023

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) yang berfungsi sebagai variabel tetap pada penelitian ini, didefinisikan sebagai perbandingan antara konsumsi energi listrik (kWh) terhadap satuan luasan gedung (m^2) pada kurun waktu per tahun. Sehingga IKE ini memiliki satuan $kWh/m^2/tahun$. *Sefaira* mampu menampilkan nilai IKE hanya dengan memasukkan bentuk *modellingnya*, mengatur lokasi simulasi serta fungsi dari bangunan.



Gambar 4. Input awal pada *Sefaira Web Tools*
Sumber: Penulis, 2023

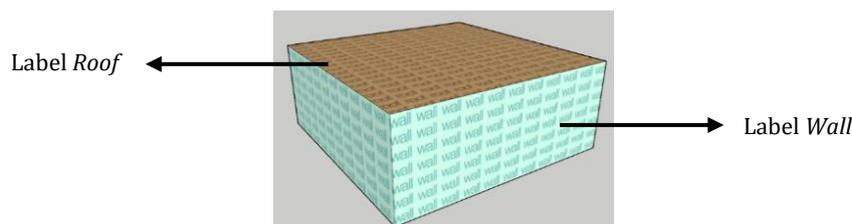
Beberapa batasan di dalam penelitian ini meliputi :

1. Obyek rancang adalah rumah tinggal 1 lantai dengan luasan yang sama yaitu senilai $\pm 100 m^2$.
2. Pegaturan lokasi iklim mengikuti data kota Surabaya.
3. Untuk pengaturan detail bentuk dan jumlah unit perabot elektronik yang dipakai dalam rumah, mengikuti pengaturan standar dari *Sefaira*.

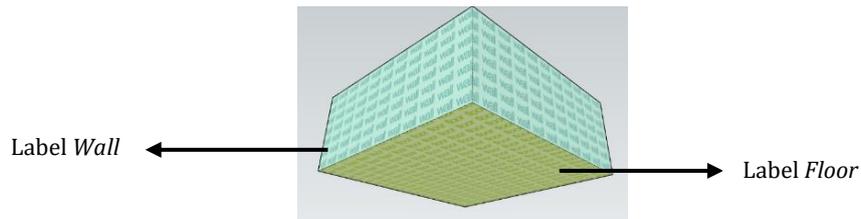
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi Bentuk Geometri Bangunan

Pada tahap awal, simulasi dilakukan untuk mengetahui geometri dasar bangunan apa yang paling memiliki efisiensi energi. Setiap objek atau model geometri perlu diberikan label terlebih dahulu terkait perannya sebagai elemen dalam bangunan. Pada tahap ini ada 3 (tiga) label yaitu : (1) *roof* – atap; (2) *wall* – dinding; dan (3) *floor* – lantai. Label *roof* dan *wall* ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan label *wall* dan *floor* diperlihatkan pada Gambar 5.



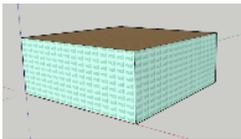
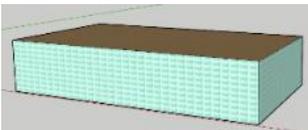
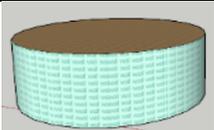
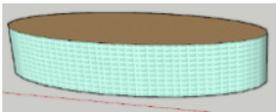
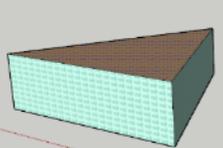
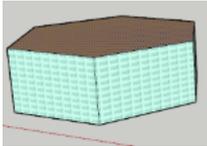
Gambar 4. Label *roof*, dan *wall* pada model
Sumber: Penulis, 2023



Gambar 5. Label wall dan floor pada model
Sumber: Penulis, 2023

Terdapat 6 (enam) bentuk geometri dasar yang disimulasikan, yang ditunjukkan pada Tabel 1. Geometri dasar bangunan ini diletakkan pada arah hadap yang sama.

Tabel 1. Model bentuk geometri yang disimulasikan dan besar energi yang dikonsumsi
Sumber: Penulis, 2023

NO.	BENTUK DASAR	VISUALISASI	RASIO (P:L)	UKURAN TIAP SISI (m)	LUAS PER LANTAI (m ²)	ENERGI (kWh/m ² /tahun)
1	 PERSEGI		1 : 1	10 x 10	100	69
2	 PERSEGI PANJANG		2 : 1	14 x 7,15	100,1	69
3	 LINGKARAN		1 : 1	r = 5,65	100,2	68
4	 ELIPS		2 : 1	d = 24 ; r = 2,65	100,8	68
5	 SEGITIGA		1 : 1	a dan t = 14,2	100,8	70
6	 SEGI ENAM		1 : 1	r = 6,3	100	68

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan terhadap hasil simulasi permodelan yang ada pada Tabel 1, dengan menggunakan 6 (enam) macam permodelan geometri bentuk, pada rumah tinggal 1 lantai dengan luasan ± 100 m², dapat disimpulkan bahwa :

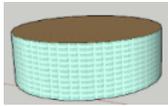
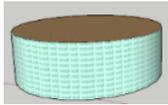
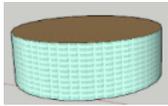
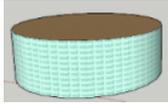
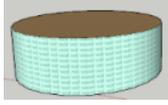
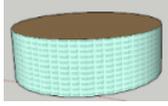
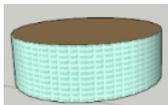
1. Bangunan yang terdiri atas bentukan geometri yang memiliki banyak sisi, akan cenderung memiliki intensitas konsumsi energi yang lebih rendah.
2. Semakin sedikit sisi yang menyusun gubahan bentukan geometri bangunan, maka akan cenderung lebih tinggi intensitas konsumsinya.

B. Simulasi Arah Hadap Bangunan

Sesuai simulasi terhadap bentuk geometri bangunan dilakukan, berikutnya adalah simulasi terhadap arah hadap bangunan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh besarnya arah hadap bangunan dalam menerima radiasi panas dan cahaya matahari terhadap jumlah total konsumsi energi.

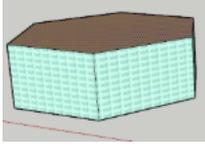
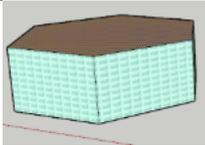
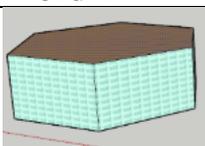
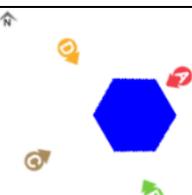
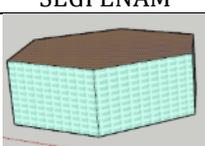
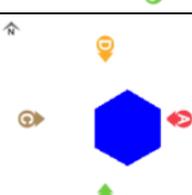
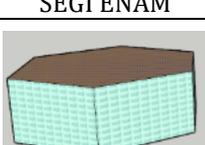
Simulasi tidak lagi dilakukan hingga 6 (enam) model geometri yang berbeda, sesuai yang ada pada Tabel 1. Hasil simulasi sebelumnya menyatakan bahwa bangunan yang memiliki banyak sisi, akan cenderung memiliki intensitas konsumsi energi yang lebih rendah. Hal tersebut ditemukan pada bentukan geometri lingkaran, elips dan segi enam yang memiliki jumlah nilai intensitas konsumsi energi yang sama. Akan tetapi karena bentuk lingkaran dirotasi berapa derajat pun bentukan sisinya tetap sama dan nilai intensitas konsumsinya juga tetap sama yaitu di angka 68 kWh/m²/tahun, maka simulasi selanjutnya hanya dilakukan pada bentukan geometri oval dan segi enam. Bangunan dipersepsikan untuk diputar dengan kelipatan sudut 30° hingga mencapai sudut putaran 180°. Tabel 2, dan 3 menunjukkan hasil simulasi energi untuk bentuk geometri bangunan elips dan segi enam. Hasil konsumsi energi pada tiap bentuk geometri dasar yang ada di Tabel 1 merupakan representasi dari simulasi no.1 yang ada pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Simulasi konsumsi energi pada geometri elips dengan perubahan sudut arah hadap

NO.	BENTUK DASAR	ORIENTASI	VISUALISASI	ROTASI	ENERGI (kWh/m ² / tahun)
1	 ELIPS	Memanjang ke Barat - Timur		0°	68
2	 ELIPS	Serong dengan sumbu Barat - Timur		30°	68
3	 ELIPS	Serong dengan sumbu Utara - Selatan		60°	69
4	 ELIPS	Memanjang ke Utara - Selatan		90°	69
5	 ELIPS	Serong dengan sumbu Utara - Selatan		120°	69
6	 ELIPS	Serong dengan sumbu Barat - Timur		150°	68
7	 ELIPS	Memanjang ke Barat - Timur		180°	68

Sumber: Penulis, 2023

Tabel 3. Simulasi konsumsi energi pada geometri segi enam dengan perubahan sudut arah hadap

NO.	BENTUK DASAR	ORIENTASI	VISUALISASI	ROTASI	ENERGI (kWh/m ² / tahun)
1	 SEGI ENAM	Memanjang ke Barat - Timur		0°	68
2	 SEGI ENAM	Serong dengan sumbu Barat - Timur		30°	68
3	 SEGI ENAM	Serong dengan sumbu Utara - Selatan		60°	68
4	 SEGI ENAM	Memanjang ke Utara - Selatan		90°	68
5	 SEGI ENAM	Serong dengan sumbu Utara - Selatan		120°	68
6	 SEGI ENAM	Serong dengan sumbu Barat - Timur		150°	68
7	 SEGI ENAM	Memanjang ke Barat - Timur		180°	68

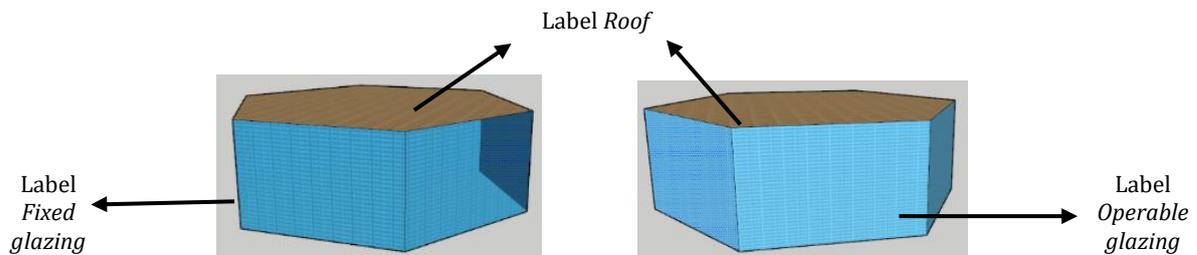
Sumber: Penulis, 2023

Dari simulasi yang telah dilakukan terhadap arah hadap bangunan di Tabel 2 dan Tabel 3, didapatkan sejumlah hasil yaitu:

1. Geometri bangunan yang memiliki proporsi antar sisi yang sama (1:1) seperti lingkaran dan segi enam, cenderung memiliki intensitas konsumsi energi yang lebih stabil dan rendah.
2. Geometri bangunan yang memiliki perbedaan proporsi ukuran antar sisi (misalnya 1:2) seperti bentukan elips, cenderung mengalami peningkatan intensitas konsumsi energi apabila sisi terpanjang menghadap ke arah barat dan Timur, atau berorientasi memanjang ke utara dan selatan.
3. Bangunan dengan orientasi arah hadap ke Barat dan Timur, cenderung lebih hemat energi daripada yang memanjang ke arah Utara-Selatan.

C. Simulasi Terhadap Jenis Material pada Selubung Bangunan

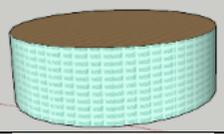
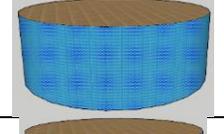
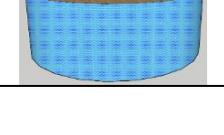
Tahap berikutnya adalah melakukan simulasi lanjutan pada bentukan geometri bangunan lingkaran dan segi enam, yang memiliki tingkat intensitas konsumsi energi paling rendah. Simulasi yang dilakukan berkaitan dengan jenis material yang digunakan pada selubung bangunan. Pada model, pelabelan tidak lagi hanya *roof* – atap, *wall* – dinding dan *floor* – lantai, namun juga *fixed glazing* – jendela mati dan *operable glazing* – ventilasi. Ilustrasi mengenai *fixed glazing* dan *operable glazing* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Label *fixed glazing* dan *operable glazing* pada model
Sumber: Penulis, 2023

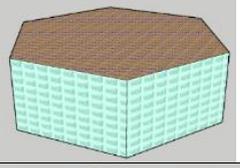
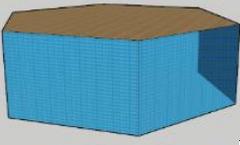
Untuk mengetahui bagaimana selubung bangunan terhadap intensitas konsumsi energi, maka perlu dibandingkan terlebih dahulu antara bidang vertikal yang berbentuk dinding bata, *fixed glazing* dan *operable glazing*. Simulasi diasumsikan sebesar 100% untuk dapat membuat skema kondisi yang paling ekstrem. Hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Simulasi konsumsi energi pada geometri lingkaran dengan variasi bidang vertikal

NO.	BENTUK BIDANG VERTIKAL	VISUALISASI	ENERGI (kWh/m ² / tahun)
1	100% Dinding		68
2	100% Fixed Glazing		111
3	100% Operable Glazing		111

Sumber: Penulis, 2023

Tabel 5. Simulasi konsumsi energi pada geometri segi enam dengan variasi bidang vertikal

NO.	BENTUK BIDANG VERTIKAL	VISUALISASI	ENERGI (kWh/m ² / tahun)
1	100% Dinding		68
2	100% Fixed Glazing		112
3	100% Operable Glazing		112

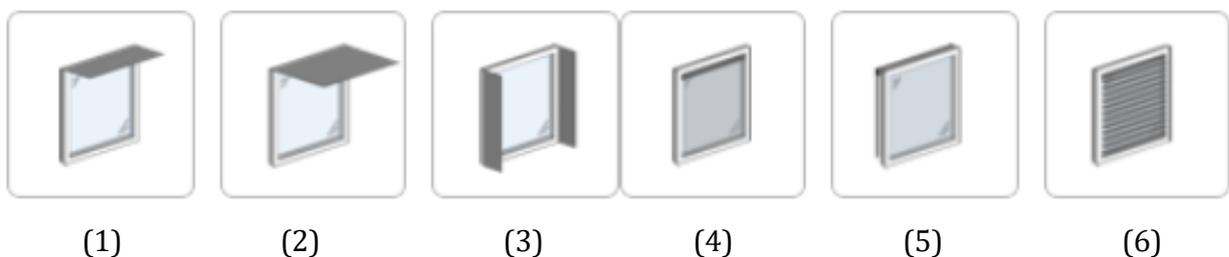
Sumber: Penulis, 2023

Dari hasil simulasi yang ada pada Tabel 4 dan 5, didapatkan hasil bahwa:

1. Penggunaan kaca pada bidang vertikal, meningkatkan jumlah konsumsi energi secara signifikan. Material kaca meningkatkan jumlah transmisi panas ke dalam bangunan yang pada akhirnya meningkatkan konsumsi energi untuk pendinginan ruang. Namun kaca ini juga berperan dalam meneruskan pencahayaan alami ke dalam ruang.
2. Tidak ada perbedaan yang signifikan terkait dengan intensitas konsumsi energi antara bukaan dengan *fixed glazing* maupun *operable glazing*.
3. Bentuk geometri lingkaran cenderung menghasilkan lebih sedikit intensitas konsumsi energinya.

D. Simulasi Bentuk Elemen Pembayaran

Langkah berikutnya ialah mensimulasikan bentukan detail dari elemen pembayaran (*shading*). Terdapat 6 jenis bentukan *shading*, yaitu : (1) *small overhang*; (2) *large overhang*; (3) *side fins*; (4) *external shade*; (5) *internal shade*; dan (6) *external venetian*. Keenam jenis *shading* ini ditunjukkan pada Gambar 7.

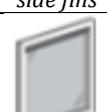


Gambar 7. Macam bentukan *shading* dari jendela, (ki-ka) : (1) *small overhang*; (2) *large overhang*; (3) *side fins*; (4) *external shade*; (5) *internal shade*; dan (6) *external venetian*.

Sumber: penulis, 2023

Variasi penggunaan elemen pembayangan ini ditujukan pada bentuk geometri lingkaran, yang pada simulasi sebelumnya menghasilkan lebih sedikit intensitas konsumsinya. Hasil simulasi terkait dengan perbedaan penggunaan elemen pembayangan (*shading*) pada bentuk geometri lingkaran, yang 100% selubung material *glazing*, terhadap intensitas konsumsi energi, ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 7. Simulasi intensitas konsumsi energi pada geometri lingkaran yang menggunakan bentukan *shading* yang berbeda

NO.	BENTUK <i>SHADING</i>	ENERGI (kWh/m ² / tahun)
1	 <i>small overhang</i>	111
2	 <i>large overhang</i>	111
3	 <i>side fins</i>	111
4	 <i>external shade</i>	123
5	 <i>internal shade</i>	117
6	 <i>external venetian</i>	90

Sumber: Penulis, 2023

Pada kondisi paling ekstrim, jika seluruh bidang vertikal atau dinding atau selubung bangunan 100% material *glazing*, maka berdasarkan hasil simulasi yang ada pada Tabel 5, didapatkan bahwa :

1. Penggunaan jendela dengan *shading* berjenis *small overhang*, *large overhang* serta *side fins*, tidak memiliki kontribusi terhadap penurunan intensitas konsumsi energi.
2. Penggunaan jendela dengan *shading* berjenis *external shade* dan *internal shade*, justru meningkatkan jumlah konsumsi energi.

3. *Shading* berjenis *external venetian*, memberikan kontribusi yang positif dan signifikan di dalam penurunan jumlah konsumsi energi, dibandingkan dengan selubung material *glazing* yang tidak memiliki elemen pembayangan.

Simulasi-simulasi yang dilakukan menghasilkan konsumsi energi dalam kategori efisien di rentang nilai 95-145 kWh/m²/tahun, sesuai dengan Peraturan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Tahun 2012.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi permodelan yang ada terhadap bentuk geometri bangunan, arah hadap/orientasi bangunan, bahan selubung bangunan serta bentuk elemen pembayangan pada bukaan, didapatkan sejumlah kesimpulan bahwa bentuk desain bangunan yang memiliki Intensitas Konsumsi Energi (IKE) terbaik adalah desain yang memiliki bentukan geometri yang memiliki banyak sisi atau mengarah ke bentuk lengkung, proporsi antar sisi yang sama (1:1) atau jika sedikit memanjang, bangunan berorientasi arah hadap ke Barat dan Timur, mengurangi selubung material *glazing*, dan penggunaan *shading* berjenis *external venetian*.

DAFTAR REFERENSI

- Abdurrahman Rabbani, B., & Cahyani, D. (2019). Energy Optimization on Preliminary Design of The Botani Museum using Sefaira® Thermal Comfort Standard for Open Space in Hot-Humid Climate View project. In *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)* (Issue 5). <https://www.archdaily.com/775426/nanjing-hongfeng-technology-park-building-a1-one-design>
- Alhamnovanda, S., Purnomo, A. B., Siswanto, J., Program,), Fakultas, S. A., Sipil, T., Perencanaan, D., & Trisakti, U. (2019). Optimalisasi Penerapan Efisiensi Energi pada Fasad Perpustakaan Nasional. In *Seminar Nasional Cendekiawan ke* (Vol. 5).
- Amalia, M., Paramita, B., Minggra, R., & Koerniawan, M. D. (2020). Efficiency Energy on Office Building in South Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 520(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/520/1/012022>
- Dimas. Tubagus A., Fitria, D., & Junus D, T. (2011). *Perbandingan Perhitungan OTTV dan ETTV Gedung Komersial - Kantor*.
- Goswami, D. Y., & Kreith, F. (2007). *Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy* (D. Y. Goswami & F. Kreith, Eds.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420003482>
- Handayani, T. (2010). *Efisiensi Energi dalam Rancangan Bangunan Energy Efficiency in Building Design* (Vol. 1, Issue 2).
- Hanissaa, A. N., & Paramita, B. (2021). Sefaira Simulation in Residential Houses to Determine the Energy Use of Wall Materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 738(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012017>
- Hanum, M., & Murod, C. (2011). *Efisiensi Energi Pada "Smart Building" Untuk Arsitektur Masa Depan*.
- Harrell, C. R., & Price, R. N. (2003). Simulation modeling using ProModel technology. *Proceedings of the 2003 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (IEEE Cat. No.03EX693)*, 175–181. <https://doi.org/10.1109/WSC.2003.1261421>
- Karyono, T. H. (2016). Arsitektur Tropis dan Bangunan Hemat Energi. In *Universitas Tarumanagara* (Vol. 1, Issue 1).
- Laksmiyanti, D. P. E. (2016). Kinerja Bentuk Bangunan Perkantoran Bertingkat Menengah di Surabaya terhadap Efisiensi Energi Pendinginan. *Jurnal IPTEK*, 20(1), 1. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2016.v20i1.16>

- Menteri, E. (2012). *Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2012 tentang Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik*. www.djpp.depkumham.go.id
- Milianingrum, T. H. (2015). *Optimalisasi Pencahayaan Alami dalam Efisiensi Energi di Perpustakaan UGM*.
- Nabilah, A., Devita, H. P., Halen, Y. Van, & Jurizat, A. (2021). Energy Efficiency in Church Building Based on Sefaira Energy Use Intensity Standard. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 738(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012013>
- Octarino, C. N., & Feriadi, H. (2021). Evaluasi Kinerja Selubung Bangunan Gedung Agape Universitas Kristen Duta Wacana Yogyakarta. *Langkau Betang: Jurnal Arsitektur*, 8(2), 86. <https://doi.org/10.26418/lantang.v8i2.45436>
- Putra, R. A. (2018). Peran Teknologi Digital dalam Perkembangan Dunia Perancangan Arsitektur. In *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology* (Vol. 4, Issue 1). www.jurnal.ar-raniry.com/index.php/elkawnie
- Santoso, E. I. (2012). *Kenyamanan Termal Indoor pada Bangunan di Daerah Beriklim Tropis Lembab*.
- Sidik, A. F., Paramita, B., & Busono, T. (2021). The Comparison of Energy Usage of Modular Housing using Sefaira®. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 738(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012019>
- Wibawa, B. A., Saraswati, R. S., Chandra, A. B., & Saputro, B. E. (2021). Energy Optimization on Campus Building Using Sefaira. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 738(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012015>