DOI : dx.doi.org/10.22441/vitruvian.2022.v11i2.004

p-ISSN : 2088-8201 e-ISSN : 2598-2982

# PENGARUH *WINDOW-TO-WALL RATIO* (*WWR*) DALAM MENINGKATKAN EFISIENSI ENERGI BANGUNAN

**Gervasius Herry Purwoko [1], LMF. Purwanto [2]**

1) Program Studi Arsitektur, Universitas Ciputra, Surabaya, Indonesia
Program Studi Doktor Arsitektur, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang, Indonesia
2) Program Studi Doktor Arsitektur, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang, Indonesia

Surel: [1] gpurwoko@ciputra.ac.id

Vitruvian vol 11 no 2 Februari 2022
Diterima: 03 12 2021 | Direvisi: 17 02 2022 | Disetujui: 17 02 2022 | Diterbitkan: 28 02 2022

**ABSTRAK**

Jendela pada bangunan mempunyai peran yang sangat penting pada kinerja termal bangunan yang besarnya tergantung pada bentuk dan karakter dinding luar atau selubung bangunannya. Perbandingan luas jendela dengan luas dinding luar disebut *Window-to-Wall Ratio* (WWR), mempunyai kosekuensi dalam mengendalikan besarnya pemakaian energy pada bangunan. Permasalahannya adalah berapa nilai WWR yang dianggap optimal pada bentuk selubung yang berbeda-beda. Penelitian ini merupakan eksperimen model dengan menggunakan simulasi komputer untuk mengamati berbagai bentuk selubung bangunan perkantoran bertingkat banyak di Jakarta yang menggunakan beberapa besaran WWR untuk mencapai nilai optimal. Metode penelitian dilakukan dengan cara mengubah-ubah besaran WWR mulai 50% hingga 20% pada beberapa bentuk selubung bangunan yang umum digunakan. Hasilnya dibandingkan dengan bangunan standar pada kondisi dasar. Pengamatan dilakukan dengan simulasi DOE-2.1E dengan menggunakan model bentuk dasar bangunan yang mengacu pada standar energy bangunan perkantoran untuk Indonesia, sedangkan model selubung bangunan diklasifikasikan kedalam 5 bentuk model yang umum digunakan di Indonesia. Hasil pengamatan menunjukkan perbedaan nilai optimasi tergantung karakter bentuk selubungnya, namun pada umumnya di semua bentuk selubung terjadi kecenderungan penurunan pemakaian energy pada WWR 50%-40%, tetapi kecenderungan tersebut mulai mengecil pada WWR 30% hingga 20%. Jika WWR terus dikurangi justru membuat ruangan dalam bangunan menjadi gelap dan akan meningkatkan pemakaian energy dikarenakan meningkatnya beban pencahayaan didalam bangunan.

**Kata Kunci**: WWR, selubung bangunan, pemakaian energi bangunan

***ABSTRACT***

*The Windows or wall openings in buildings have a very important role in the performance of the building, the amount depends on the shape and character of the building envelope. The configuration of openings on the exterior walls / building envelope called the Window-to-Wall Ratio (WWR) has a consequence in controlling the amount of energy consumption in the building. The problem is how many WWR values are considered optimal in different shell shapes. This research is an experimental model using simulations to observe the various forms of envelope for multi-storey office buildings in Jakarta that use several WWR configurations to achieve optimal values. The research method was carried out by varying the WWR configuration from 50% to 20% in several forms of building envelopes that are often used in office buildings in Jakarta, the results of which will be compared with standard buildings in basic conditions. Observations were made by DOE-2.1E simulation with the basic building shape model referring to the energy standard of office buildings for Indonesia, while the building envelope model is classified into 5 types of models commonly used in Indonesia. The result show that the difference in the optimization value depends on the character of the shell shape, but in general, in all the forms of the casing, there is a tendency to decrease energy consumption at WWR 50% -40%, but this tendency begins to decrease at 30% to 20% WWR. If the WWR continues to be reduced, it will actually make the room in the building dark and will increase energy consumption due to the increased lighting load in the building.*

DOI : dx.doi.org/10.22441/vitruvian.2022.v11i2.004



***Keywords:*** *WWR, building envelope, building energy consumption*

## PENDAHULUAN

Sebanyak 50% penduduk dunia tinggal di kota yang diprediksi akan mencapai 80% pada tahun 2030 (Moonen, P. 2012). Sebagian besar kebutuhan energi digunakan untuk sektor bangunan, sehingga kota bertanggung jawab untuk masalah tersebut, karena menyumbang 70% dari emisi karbon global (Vega-Azamar, 2013) (Shaeri, 2018). Kondisi ini dirasa perlu mempertimbangkan penghematan dan pengurangan konsumsi energi untuk gedung (Nasrollahi, 2015). Untuk mengurangi konsumsi energi gedung dapat dilakukan upaya mengisolasi dinding dan jendela. Untuk tujuan tersebut, perlu ditentukan rasio jendela-dinding atau *Window to Wall Ratio* (WWR) secara optimal sebagai pertimbangan tahap awal dalam mendesain suatu bangunan. WWR yang optimal menentukan luasan jendela yang meminimalkan total kebutuhan energi tahunan untuk pendinginan, pemanasan, dan pencahayaan (Goia, 2016).

Dinding luar sebagai selubung bangunan berpengaruh besar terhadap kebutuhan anggaran biaya bangunan, selain itu berdampak pada efisiensi pemakaian energy dan kualitas lingkungan dalam ruangan (Echenagucia, 2015). Penelitian ini pada dasarnya adalah untuk memberikan edukasi pada masyarakat akan kebutuhan bangunan yang memperhatikan penghematan energy dalam operasionalnya. Selain itu mengkaji berbagai bentuk selubung dan bukaannya untuk mencari solusi teknologi yang dapat memberikan penghematan biaya pemakaian energy bangunan secara dinamis. Selubung bangunan sebagai komponen fisik bangunan memisahkan lingkungan luar dengan interior dalam bangunan berperan penting dalam mewujudkan kinerja sebuah bangunan terutama pada bangunan perkantoran bertingkat banyak. Sejauh adanya perbedaan temperature yang cukup besar antara luar dan dalam bangunan, maka akan selalu terjadi perpindahan panas dari luar kedalam bangunan atau sebaliknya melalui selubung bagunan (Vaughn 1993). Penggunaan luasan jendela atau *Window-to-Wall Ratio* yang tepat pada sebuah bentuk selubung, tidak hanya berpotensi untuk mengatur masuknya panas kedalam bangunan, tetapi juga akan mengendalikan masuknya cahaya alami. Sistem ini, dalam hubungannya dengan pencahayaan dan sistem kontrol pendinginan, dapat memungkinkan penghematan energi yang signifikan. Beberapa proyek percontohan telah menunjukkan penghematan hingga 60% untuk pencahayaan, pengurangan beban pendinginan hingga 20%, dan pengurangan daya puncak hingga 26% (IEA 2013). Dalam konteks ini, penggunaan luasan jendela atau WWR yang tepat dari selubung bangunan dapat memainkan peran penting sebagai pengendali iklim internal bangunan. WWR yang tepat akan mampu menyeimbangkan panas yang masuk kedalam bangunan dengan kebutuhan kontrol cahaya alami, yaitu keseimbangan untuk penurunan suhu udara dan konsumsi energi pencahayaan. Semakin banyak penurunan suhu udara maka semakin banyak energi pendingin yang dibutuhkan (Halawa, E., van Hoof, J. & Soebarto 2014). Permasalahannya adalah seberapa besar pengaruh WWR mampu memberikan pemakaian energy yang lebih hemat pada bangunan?. Selanjutnya adalah jika WWR tersebut dipasang pada selubung model lainnya akan memberikan penghematan energy seberapa besar dibandingkan dengan model selubung standar?. Hasil penelitian ini dapat menjadi panduan untuk membuat model dan luasan jendela kinetic pada bangunan pintar yang membutuhkan luasan jendela yang tepat untuk disetting pada system untuk dalam mendapatkan WWR yang paling optimal. Pengendalian radiasi matahari adalah elemen kunci untuk mencapai kenyamanan dalam ruangan dan lebih lagi untuk efisiensi energi yang lebih besar didalam bangunan (Casini 2015).

Pada sisi lain keberadaan gedung-gedung perkantoran di beberapa kota besar seperti Jakarta yang menggunakan fasad kaca maupun panel aluminium untuk estetika membawa dampak terhadap penggunaan energy pada bangunan (Mintorogo 2006). Sebagian besar pemakaian energy akan digunakan untuk pendinginan ruangan dan pencahayaan (Purwoko 1998), dan besarnya penggunaan energy akan meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas panas matahari radiasi yang diterima oleh selubung bangunan (Santoso, A. J. Dan Antaryama 2005). Oleh karena itu selubung bangunan berperan besar sebagai pemisah antara interior gedung dan lingkungan luar untuk menjaga ruangan tetap dalam kondisi kenyamanan thermal (Koo, C., 2014).

DOI : dx.doi.org/10.22441/vitruvian.2022.v11i2.004



Penelitian menunjukkan bahwa kondisi lingkungan luar bangunan secara langsung mempengaruhi panas dalam ruangan (Dahlan, N.D., Jones, P.J. & Alexander 2011), penelitian yang dilakukan di Malaysia dan Amerika tersebut juga mencatat bahwa nilai rata-rata suhu operasi sangat bervariasi tergantung besarnya U-Value material dinding dan konfigurasi WWR, serta bentuk selubung bangunan. Kenyamanan thermal adalah sebuah sensasi thermal netral yang dapat dirasakan tidak terlalu hangat atau pun terlalu dingin, dipengaruhi oleh kombinasi factor-faktor tingkat metabolisme, pakaian, suhu udara, radiasi, kelembaban relative, kecepatan udara (Chow, T.T., Fong, K.F., Givoni, B., Lin, Z. & Chan 2010). Ketika selubung bangunan terkena radiasi matahari, ia akan menyimpan energi panas yang membuat suhu permukaannya meningkat. Selanjutnya memancarkan energi panas ke dalam ruangan interior, sehingga terjadi peningkatan suhu permukaan (*Mean Radiant Temperature - MRT*). Saat MRT meningkat, suhu udara harus diturunkan untuk menjaga kenyamanan yang sama. Semakin banyak penurunan suhu udara maka semakin banyak energi pendinginan yang dibutuhkan (Halawa, E., van Hoof, J. & Soebarto 2014). Karena perolehan panas didalam interior bangunan diperoleh melalui konfigurasi selubung yang didalamnya termasuk proses konduksi, konvektif pada permukaan dalam dan luar selubung, serta proses radiasi, maka salah satu upaya arsitektural dalam mendesain bangunan yang nyaman adalah berfokus pada suhu operasi dalam ruangan sebagai batasan desain (Wang, L.S., 2014), dan pengolahan bentuk selubung termasuk didalamnya adalah konfigurasi WWR. Makalah ini bertujuan untuk mengembangkan pemahaman tentang keterkaitan antara desain selubung bangunan dan penggunaan energi bangunan. Model gedung perkantoran dengan WWR yang berbeda disimulasikan menggunakan file cuaca Jakarta untuk mendemonstrasikan pengaruh berbagai model bentuk selubung bangunan terhadap penggunaan energi bangunan.

## METODOLOGI

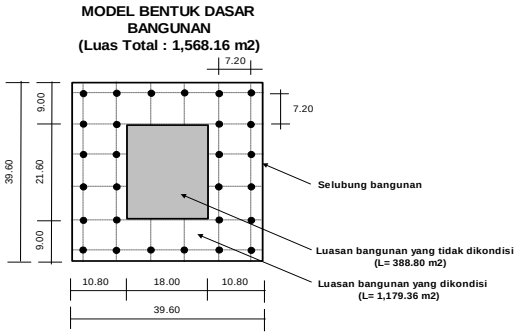
Penelitan ini merupakan eksperimen model dari konfigurasi WWR selubung bangunan pada bangunan model kedalam pengujian simulasi computer. Metode pengujian sebagai berikut (Purwoko 1998); **Pertama**, membuat model untuk kondisi dasar dalam bentuk bangunan dengan denah dasar bujur sangkar yang didasarkan pada umumnya denah dasar bangunan perkantoran di Jakarta, berupa bangunan perkantoran 10 lantai dengan bentuk dasar Bujur Sangkar masing-masing sisinya berukuran 39.60 X 39.60 meter dengan luas total tiap lantai bangunan : 1,568.16 meter persegi. Dalam penelitian ini pembagian zona bangunan disederhanakan hanya menjadi zona perkantoran dan zona *Core* atau servis yang tidak terlalu berpengaruh terhadap pengubahan parameter simulasi. Semakin dalam zona maka akan semakin dipengaruhi oleh dominasi perolehan panas internal, sebaliknya zona semakin keluar akan semakin didominasi perolehan panas eksternal (Saud 2012). Pada struktur utama bangunan menggunakan *Rigid Frame* yang dibungkus oleh selubung bangunan dari jenis kaca Stopsol ketebalan 8 milimeter yang mempunyai *Shading Coefficient* 0.65 dan *T.vis* 37%. Dimensi tinggi jendela 2.00 meter yang dipasang setinggi + 0.80 meter dari permukaan masing-masing lantai (Gambar-1,2,3,4). Untuk keperluan validasi, maka digunakan model bangunan yang mengacu bangunan perkantoran besar 10 lantai di Jakarta, luas total sebesar 1.555 M2 (Soegijanto, Derringer.J 1989).

Pemodelan Kondisi Dasar yang dianggap sesuai untuk simulasi ini menggunakan variable tetap, di-setting sebagai berikut (Purwoko 2019):

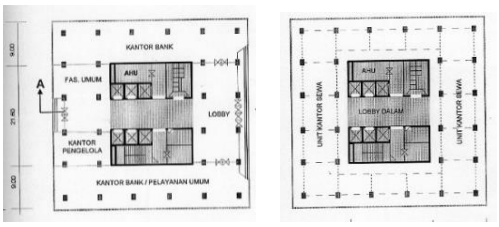
- Luasan penghunian per meter persegi (*Occupancy*) disesuaikan standar perkantoran yaitu sebesar 10 M2/orang
- Jadwal pemakaian ruangan sesuai jadwal perkantoran, Senin – Jumat : 08.00 – 17.00 WIB
- Pencahayaan dalam ruangan ditentukan sebesar 15 W/M2 dan 12W/M2
- Konsumsi energy untuk peralatan mekanikal sebesar 10 W/M2 dan 5 W/M2
- *Set-Point* ruangan yang dianggap nyaman dikondisikan sebesar 24$^{O}$C (75.2$^{O}$F) , *Throttling Range* 2$^{O}$F
- Supply udara bersih ditentukan sebesar : 15 CFM per orang
- Pada kondisi dasar ini ditetapkan rasio jendela-dinding (WWR) 50% , *Shading Coeficient* 0.65 , *T.visibility* 0.37 (Loekita 2007)
- Pemakaian peralatan Chiller: EIR (1/COP) = 0.265
- Pemakaian peralatan internal sebesar 210 KW
- Pemakaian lampu dan peralatan eksternal sebesar 70 KW

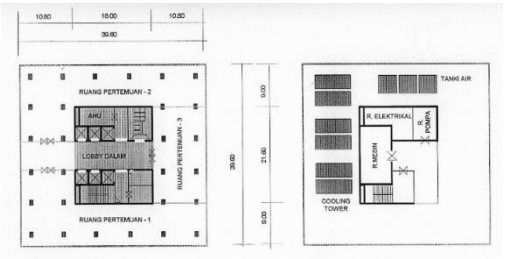
DOI : dx.doi.org/10.22441/vitruvian.2022.v11i2.004

Vitruvian *Jurnal Arsitektur, Bangunan, & Lingkungan* | Vol.11 No.2 Februari 2022 : 133-140

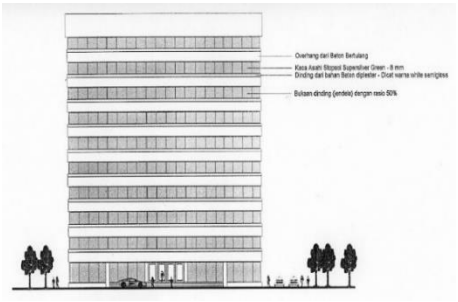


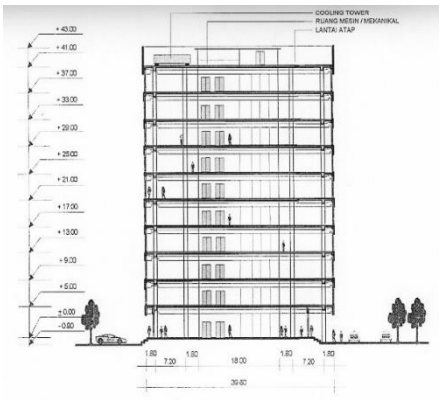

**Gambar 1.** Model Bentuk Dasar Bangunan
Sumber : Penulis




**Gambar 2.** Denah Bangunan
Sumber : Penulis

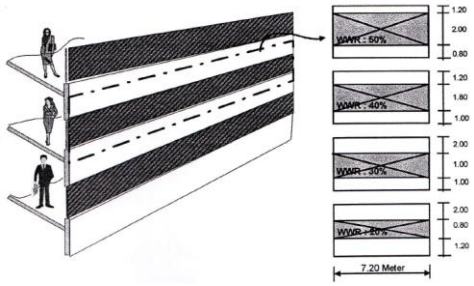





**Gambar 3.** Tampak- Potongan
Sumber : Penulis

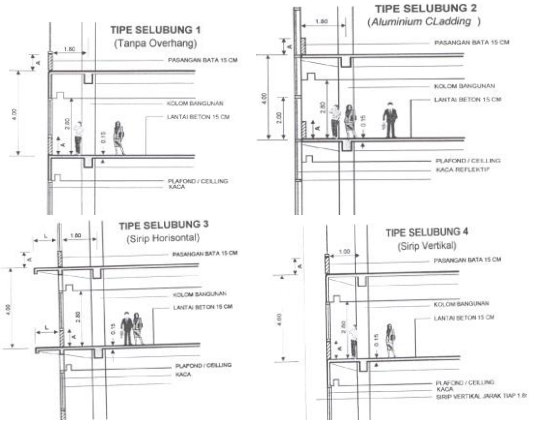
**Kedua**, melaksanakan simulasi pengujian dengan eksperimen model bangunan dasar tersebut dengan program aplikasi komputer DOE-2.1E. Eksperimen dimaksudkan untuk mengetahui besarnya konsumsi energy bangunan pada masing-masing kondisi sebagai besaran kondisi dasar.

**Ketiga**, melaksanakan simulasi dengan mengubah-ubah besarnya WWR yaitu pada kondisi 50% – 40% – 30% – 20%. Selanjutnya menguji perubahannya dengan membandingkan pemakaian energy bangunan dengan pemakaian energi pada kondisi dasar.



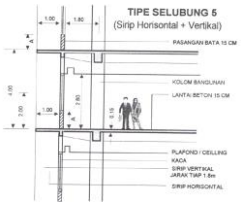

**Gambar 4.** Pengubahan WWR 40-30-20%
Sumber : Penulis

**Keempat**, mengubah-ubah model selubung bangunan dari model-1, model-2, model-3, model-4, dan model-5 untuk di-setting dengan besaran WWR yang telah ditetapkan. Selanjutnya melaksanakan uji WWR sesuai dengan tahapan ketiga, untuk melihat besarnya perubahan pemakaian energy bangunan dibanding kondisi dasar.



DOI : dx.doi.org/10.22441/vitruvian.2022.v11i2.004

p-ISSN : 2088-8201 e-ISSN : 2598-2982



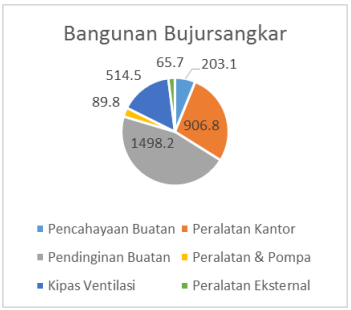

**Gambar 5.** Pemodelan Selubung Bangunan
Sumber : Penulis

Simulasi yang digunakan adalah Program DOE-2.1E, yaitu program simulasi energi yang dikembangkan oleh *Lawrence Berkeley Laboratory - Berkeley - California*, Amerika Serikat (Raharja 1991). Program simulasi ini dipercaya untuk berbagai keperluan yang menyangkut masalah energi pada bangunan. Digunakan oleh berbagai pihak di Amerika Serikat, dan negara-negara Asia termasuk Indonesia.

Dalam simulasi ini bangunan yang dijadikan model melakukan komputasi aliran panas atau kalor pada permukaan yang dilingkupinya. Komputasi juga dilakukan terhadap benda-benda yang membangkitkan panas atau kalor. Prosesnya dilakukan secara matematis dalam persamaan diferensial-integral untuk berbagai kondisi dan parameter yang telah di-setting. Program aplikasi (DOE 2.1-E) berfungsi untuk mensimulasikan sifat-sifat termodinamik bangunan model. Struktur program didalamnya terdiri atas satu program yang menterjemahkan file masukan. Sedangkan empat subprogram lainnya akan di-eksekusi, masing-masing hasilnya akan menjadi masukan bagi subprogram berikutnya yaitu *BDL Processor, Loads, System, Plant, dan Economics* (DOE-2 Basic Manual 1990).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari simulasi pada model bangunan kondisi dasar dengan WWR 50% didapat hasil bahwa pemakaian energi total sebesar 3,278.2 MWH. Beban tertinggi digunakan untuk system pendinginan ruangan sebesar 1,498.6 (45%). Sedangkan sisanya digunakan untuk pencahayaan buatan sebesar 8%, peralatan kantor sebesar 29%, peralatan mekanikal sebesar 14%, peralatan pompa 3%, dan peralatan eksternal 2%. Sehingga setiap tahun rata-rata pemakaian energi per meter persegi bangunan sebesar 209 KWH/M2/Tahun. Sebagai perbandingan bahwa standar pemakaian energi bangunan *Base-case* sebesar 229 KWH/M2/Tahun (Soegijanto, Derringer.J 1989).




**Gambar 6.** Rincian Pemakaian energi bangunan (kondisi dasar)
Sumber : Hasil Analisis

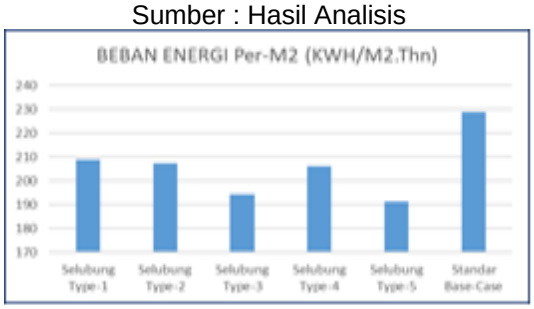
Perolehan panas yang relevan dengan penelitian ini adalah perolehan panas yang berasal dari panas cahaya matahari melalui kaca sebesar 163.617 KWH (12%) dari total beban pendinginan. Adapun beban konduksi permukaan dalam sebesar 135.793 KWH, konduksi dinding 86.405 KWH, konduksi kaca 75.845 KWH. Sedangkan perolehan panas selain dari matahari meskipun cukup besar, dalam penelitian ini dianggap sebagai besaran tetap pada setiap simulasi misalkan ; infiltrasi 596.527 KWH, penghuni 148.655 KWH, dan peralatan kantor 90.957 KWH.

Selanjutnya jika model WWR 50% kondisi dasar yang diterapkan pada masing-masing model selubung bangunan kemudian dibandingkan dengan standar *Base-case* hasilnya dapat dilihat pada Tabel-1 berikut ini. Hal tersebut menunjukkan bahwa sebenarnya pengaturan WWR 50% pada semua model selubung bangunan telah memenuhi syarat ambang batas standar bangunan Base-case, namun demikian hasil yang paling baik ada pada model Selubung Type-5 yaitu tipe selubung gabungan antara overhang horizontal dan sirip vertical.

**Tabel 1.** Pemakaian energi pada WWR 50% (kondisi dasar)

| **KONFIGURASI WWR 50%** | **BEBAN ENERGI Per-M2** (KWH/M2.Thn) |
|---|---|
| Selubung Type-1 | 209 |
| Selubung Type-2 | 207.3 |
| Selubung Type-3 | 194.3 |
| Selubung Type-4 | 206 |
| Selubung Type-5 | 191.3 |
| Standar Base-Case | 229 |

Sumber : Hasil Analisis



DOI : dx.doi.org/10.22441/vitruvian.2022.v11i2.004

Vitruvian *Jurnal Arsitektur, Bangunan, & Lingkungan* | Vol.11 No.2 Februari 2022 : 133-140

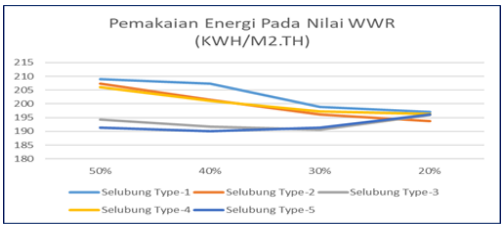
**Gambar 7.** Diagram Pemakaian energi
Sumber : Hasil Analisis

Harga dasar WWR simulasi ini adalah 50% yang dilakukan pada masing-masing model selubung, tujuannya adalah untuk melihat kecenderungan reduksi pemakaian energy pada masing-masing model selubung jika besarnya WWR diubah secara bertahap. Dari hasil simulasi terlihat bahwa kecenderungan perubahan berbeda untuk masing-masing selubung:

- Selubung Type-1, terdapat penurunan tajam pada WWR 50% hingga 40%, namun kecenderungan tersebut mengecil pada WWR 30% kebawah. Hal tersebut dapat terjadi karena dengan berkurangnya luas bukaan dinding akan menurunkan beban pendinginan secara signifikan terutama pada WWR 50% - 40%. Kecenderungan penurunan beban pendinginan mengecil jika bukaan semakin dipersempit, akan tetapi bersamaan dengan hal tersebut beban pencahayaan akan meningkat secara drastis, sehingga secara akumulasi masih terdapat penurunan beban energy namun jumlahnya mengecil.
- Selubung Type-2, terjadi kecenderungan penurunan energy yang sama dengan selubung type-1 karena karakteristik selubung mirip, yaitu seluruh permukaan dinding eksterior leluasa terkena radiasi cahaya matahari tanpa pelindung atau peneduh.
- Selubung Type-3, terdapat penurunan yang tajam pada WWR 50%, namun kecenderungan akan mengecil pada WWR 40% dan mencapai nilai terendah pada WWR 30%. Seterusnya jika WWR dikurangi justru akan meningkatkan pemakaian energy, karena dengan berkurangnya luas bukaan dinding akan menurunkan beban pendinginan, namun beban pencahayaan akan meningkat secara drastis sehingga akumulasi justru akan meningkatkan pemakaian energy terutama pada WWR 20% kebawah.
- Selubung Type-4, terjadi kecenderungan penurunan energy sama seperti pada selubung type-1 dan type-2, dikarenakan selubung type-4 ini mempunyai karakteristik selubung yang hampir sama, perbedaan hanya terletak adanya sirip (*fin*). Adanya sirip ini tidak terlalu mempengaruhi peningkatan reduksi pencahayaan seperti pada type-3.
- Selubung Type-5, terdapat kecenderungan penurunan energy sama seperti selubung type-3 karena selubung type-5 ini mempunyai karakteristik yang sama dengan selubung type-3 bahkan melebihi karena adanya sirip atau *fin* vertical yang juga memberikan efek peneduhan pada bangunan meski tidak terlalu besar.

**Tabel 2.** Pemakaian energi setiap selubung pada nilai perubahan WWR

| Nilai Perubahan WWR | Pemakaian Energy Per M2 - Total Luas Bangunan | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Selubung Type-1 | Selubung Type-2 | Selubung Type-3 | Selubung Type-4 | Selubung Type-5 |
| 50% | 209 | 207.3 | 194.3 | 206 | 191.3 |
| 40% | 207.3 | 201.4 | 191.8 | 201.1 | 190 |
| 30% | 198.9 | 196.2 | 190.7 | 197.3 | 191.3 |
| 20% | 197.1 | 193.7 | 195.9 | 196.4 | 196.1 |




**Gambar 8.** Pemakaian energi setiap selubung pada nilai perubahan WWR
Sumber : Hasil Analisis

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil pengujian simulasi didapat hasil kesimpulan bahwa pengubahan WWR memberikan pengaruh yang tidak terlalu signifikan, reduksi rata-rata hanya sekitar 8% terhadap pemakaian energy bangunan setiap tahunnya. Walaupun demikian area optimasi WWR sangat diperlukan oleh para arsitek untuk menentukan eksekusi desain yang berorientasi pada bangunan hemat energy, serta menjadi panduan terhadap implementasi jendela kinetic pada Smart Building.

### Saran/Rekomendasi

Agar dapat memberikan penghematan energi bangunan yang lebih besar lagi, disarankan memakai selubung bangunan type-5 berupa gabungan konsep kanopi (*overhang*) dan konsep sirip (fin) yang membentuk sebuah selubung bangunan. Penerapan sederhana sehari-hari model gabungan tersebut sudah umum digunakan pada bangunan ber-arsitektur tropis lembab. Dalam ukuran lebih kecil dan tipikal model ini umumnya disebut *Rooster* atau *Egg crate*.

DOI : dx.doi.org/10.22441/vitruvian.2022.v11i2.004

p-ISSN : 2088-8201 e-ISSN : 2598-2982

**DAFTAR PUSTAKA**

Casini, Marco. 2015. *Smart Windows for Energy Efficiency of Buildings*. Rome: Department of Planning, Design, and Technology of Architecture (PDTA), Sapienza University of Rome Italy. https://doi.org/10.15224/ 978-1-63248-030-9-56.

Chow, T.T., Fong, K.F., Givoni, B., Lin, Z. & Chan, A.L.S. 2010. "Thermal Sensation of Hong Kong People with Increased Air Speed, Temperature and Humidity in Air-Conditioned Environment." *Building and Environment* 45 (10): 2177–83.

Dahlan, N.D., Jones, P.J. & Alexander, D.K. 2011. "Operative Temperature and Thermal Sensation Assessments in Non-Air-Conditioned Multi-Storey Hostels in Malaysia." *Building and Environment* 46 (2): 457–67.

DOE-2 Basic Manual, Version 2.1D. 1990. *Lawrence Berkeley Laboratory Publication, LBL-29140*. Lawrence Berkeley Laboratory Publication.

Echenagucia, T. M.; Capozzoli, A.; Cascone, Y.; Sassone, M. 2015. "The Early Design Stage of a Building Envelope: Multi-Objective Search through Heating, Cooling and Lighting Energy Performance Analysis." *Applied Energy* 154: 577–91.

Goia, F. 2016. "Search for the Optimal Window-to-Wall Ratio in Office Buildings in Different European Climates and the Implications on Total Energy Saving Potentia." *Sol. Energy* 132: 467–92.

Halawa, E., van Hoof, J. & Soebarto, V. 2014. "The Impacts of the Thermal Radiation Field on Thermal Comfort, Energy Consumption and Control—A Critical Overvi." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37: 907–18.

IEA. 2013. "Energy Efficient Building Envelopes, Technology Roadma." *Technology Roadma*. Paris.

Koo, C., Park, S., Hong, T. & Park, H.S. 2014. "An Estimation Model for the Heating and Cooling Demand of a Residential Building with a Different Envelope Design Using the Finite Element Method." *Applied Energy* 114: 205–15.

Loekita, S. 2007. "Analisis Konservasi Energi Melalui Selubung Bangunan." *Civil Engineering Dimension* 8(2): 93–98.

Mintorogo, D.S. 2006. "Unsustainable Building Façades and Fashions in Surabaya." *Dimensi Teknik Arsitektur Vol. 33, No. 1* 34 (1): 67–72.

Moonen, P.; Defraeye, T.; Dorer, V.; Blocken, B.; Carmeliet, J. 2012. "Urban Physics: E_ect of the Micro-Climate on Comfort, Health and Energy Demand." *Front. Archit. Res* 1: 197–228.

Nasrollahi, F. 2015. *Office Buildings Energy Efficient: Energy Efficiency with the Architectural Design*. *Berlin University*. Berlin, Germany.

Purwoko, G.H. 1998. "Pemanfaatan Selubung Bangunan Dalam Mengendalikan Pemakaian Energi Pada Gedung Perkantoran Bertingkat Banyak Di Jakarta."

———. 2019. "Pengaruh Overhang Dan Sirip Terhadap Konsumsi Energi Pada Bangunan Bertingkat Tinggi Di Jakarta." *Arsitekta: Jurnal Arsitektur Kota Dan Berkelanjutan* 1 No.1: 7–12.

Raharja, I Putu Danu. 1991. "Penelitian Pemanfaatan Energi Bangunan Perkantoran Di Jakarta Dengan Menggunakan Program DOE-2.1D."

Santoso, A. J. Dan Antaryama, I Gusti N. 2005. "Konsekuensi Energi Akibat Pemakaian Bidang Kaca Pada Bangunan Tinggi Di Daerah Tropis Lembab." *Dimensi Teknik Arsitektur Vol. 33, No. 1* 33 No.1: 70–78.

Saud, M. I. 2012. *Pengaruh Konfigurasi Window to Wall Ratio, Solar Heat Gain Coefficient Dan Orientasi Bangunan Terhadap Kinerja Termal Selubung Bangunan, Simulasi Bangunan Hipo-Tetik Perkantoran Berlantai Banyak Berdasarkan Data Iklim Jakarta.* Yogyakarta: Gadjahmada University Press.

Shaeri, J.; Yaghoubi, M.; Alilabadi, M.; Vakilinazhad, R. 2018. "Experimental Study of Temperature, Relative Humidity and Wind Speed of Traditional Houses at Hot and Humid Climate of Iran (Case Study: Tabib and Nozari Houses in Bushehr)." *Honar-Ha-Ye-Ziba Memari-va-Shahrs* 23: 93–105.

Soegijanto, Derringer.J, dan Busch .J. 1989. "Building Energi Standard for Indonesia. Policy Analysis Process." *Lawrence Berkeley Laboratory Interim Report*.

Vaughn, Bradshaw. 1993. *Building Control System*. Second. New York: John Willey & Sons. Inc.

Vega-Azamar, R.E.; Glaus, M.; Hausler, R.; Oropeza-García, N.A.; Romero-López, R. 2013. "An Emergy Analysis for Urban Environmental Sustainability Assessment, the Island of Montreal,

DOI : dx.doi.org/10.22441/vitruvian.2022.v11i2.004



Canada." *Landsc. Urban Plan* 118: 18–28.

Wang, L.S., Ma, P., Hu, E., Giza-Sisson, D., Mueller, G. & Guo, N. 2014. "A Study of Building Envelope and Thermal Mass Requirements for Achieving Thermal Autonomy in an Office Building." *Energy and Buildings* 78: 79–88.

DiLaura, D. L. (2011). *Illuminating Engineering SocietyThe Lighting Handbook Tenth Edition | Reference and Application.* United States of America: Printed in the United States of America.

Hochenga, H. (2011). Microstructural Fabrication and Design of Sunlight Guide Panel of Inorganic-Organic Hybrid Material. *Journal of Energy and Buildings, 43*, 1011-1019.

Li, Z., Zhang, H., Wen, C.-Y., Yang, A.-S., & Juan, Y.-H. (2020, October). Effects of height-asymmetric street canyon configurations on outdoor air temperature and air quality. *Building and Environment, 183*(107195), 1-23. doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107195