

PENGARUH GEOMETRI DAN WINDOW TO WALL RATIO TERHADAP OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE DAN KONSUMSI ENERGI PENDINGIN BANGUNAN

Mufliha Mukhtar^{1*}, Baharuddin Hamzah², Rosady Mulyadi³

Laboratorium Sains dan Teknologi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin^{1, 2, 3}

E-mail: ^{1*}muflihamukhtar33@gmail.com, ²baharsyah@unhas.ac.id, ³rosady@unhas.ac.id

Diajukan: 20 Januari 2022

Ditinjau: 26 Januari 2022

Diterima: 1 Mei 2023

Diterbitkan: 5 Juni 2023

Abstrak Pada umumnya, bangunan gedung mengonsumsi sekitar sepertiga dari total konsumsi energi dunia. Sebagian besar energi pada bangunan di Indonesia digunakan oleh sistem pengkondisian udara. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir pemborosan energi pada sistem penghawaan udara bangunan adalah dengan menurunkan OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) untuk mengurangi panas eksternal yang masuk melalui selubung bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar pengaruh geometri dan WWR (*Window to Wall Ratio*) terhadap OTTV dan konsumsi energi bangunan melalui proses perhitungan manual dan simulasi pada software Autodesk *Ecotect Analysis*. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental dengan mengambil Menara Bosowa yang berlokasi di Makassar sebagai objek penelitian untuk dijadikan sebagai variabel kontrol dalam membuat alternatif model bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi geometri dan WWR pada bangunan cukup memengaruhi nilai OTTV dan konsumsi energi pendingin bangunan. Semakin kecil rasio antara panjang dan lebar alas serta semakin kecil persentase WWR pada bangunan maka semakin kecil pula nilai OTTV dan konsumsi energi pendingin bangunan. Dari penelitian ini, kombinasi geometri dan WWR paling efektif diaplikasikan pada bangunan ialah kombinasi antara geometri 1:1 dan WWR 15%.

Kata kunci : Geometri; Konservasi energi; Konsumsi energi pendingin; OTTV; WWR.

Abstract Generally, buildings consume around one-third of the world's total energy. Most of the energy in buildings in Indonesia is used by air conditioning systems. One effort to minimize energy waste in the building's air conditioning system is by lowering OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) to reduce external heat entering the building sheath. The study aims to analyze geometry and WWR (*Window to Wall Ratio*)'s influence on OTTV and building energy consumption through manual calculation and simulation processes on Autodesk *Ecotect Analysis* software. This research uses experimental quantitative methods by taking the Bosowa Tower located in Makassar as the research object to serve as a control variable in making alternative building models. The results showed that geometric and WWR variations in buildings were sufficient to affect OTTV values and cooling energy consumption. The smaller the ratio between the length and width of the base and the smaller the percentage of WWR in the building, the smaller the OTTV value and cooling energy consumption of the building. From this study, the most effective combination of geometry and WWR applied to buildings is the combination of 1:1 and WWR 15%.

Keywords: Geometry; Energy conservation; Cooling load; OTTV; WWR.

¹Laboratorium Sains dan Teknologi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

²Laboratorium Sains dan Teknologi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

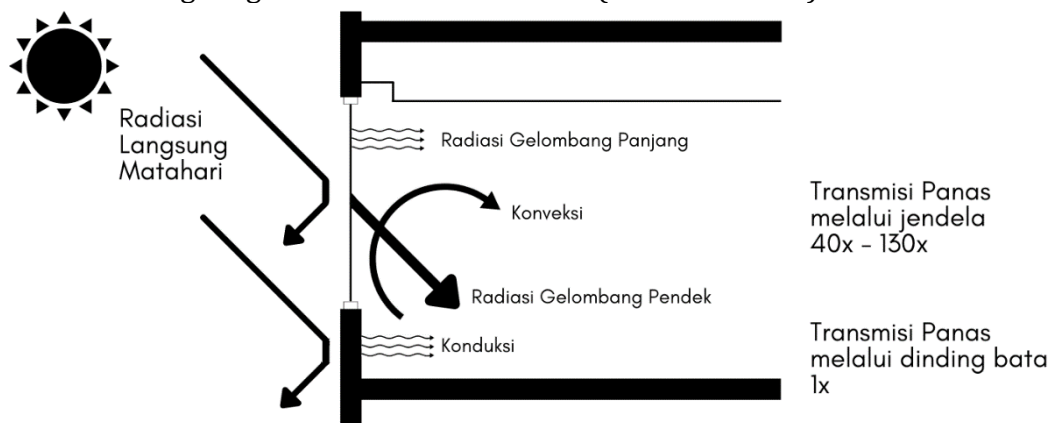
³Laboratorium Sains dan Teknologi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

PENDAHULUAN

Bangunan gedung mengonsumsi kurang lebih sepertiga dari total konsumsi energi dunia. Dari total penggunaan energi tersebut, tidak seluruh energi dipakai secara efisien (*Green Building Specialist* 2019). Bangunan dan gedung di Indonesia adalah pengguna energi terbesar ketiga, dengan porsi sekitar 30% dari total konsumsi energi Nasional. Jika tidak dikelola dengan baik, konsumsi energi yang digunakan bangunan gedung berpotensi meningkat hingga 40% pada tahun 2030. Untuk mengurangi emisi sebesar 29% pada tahun 2030, pemerintah mendorong peningkatan efisiensi energi dari bangunan dan gedung (Hoesin 2019). Dari beberapa sektor pengguna energi, dapat dilihat bahwa bangunan gedung merupakan salah satu sektor pengonsumsi energi yang banyak.

Sebagian besar energi pada bangunan di Indonesia dihabiskan oleh sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) terlepas dari tipe bangunannya. HVAC memakai sekitar 47% hingga 65% dari total konsumsi energi bangunan. Gabungan pencahayaan buatan dan beban steker berkontribusi sebesar 15% hingga 25% dari total konsumsi energi. Oleh karena itu, dengan meminimalkan konsumsi energi pada sistem HVAC dan pencahayaan buatan melalui desain pasif dan aktif, konsumsi energi bangunan keseluruhan akan berkurang secara signifikan (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta 2012b). Sistem penghawaan pada bangunan merupakan pengonsumsi energi terbesar dibandingkan sistem yang lainnya sehingga perlu dilakukan upaya yang dapat meminimalisir penggunaan energi bangunan.

Beban pendinginan udara di dalam bangunan secara umum dikategorikan atas beban internal dan beban eksternal. Beban internal merupakan beban yang diperoleh dari dalam bangunan misalnya penerangan, peralatan, dan manusia. Sedangkan beban eksternal merupakan beban yang diperoleh dari luar bangunan melalui selubung bangunan misalnya dengan cara konduksi melalui dinding, langit-langit, kaca, partisi, lantai; radiasi melalui kaca, dan konveksi melalui ventilasi bangunan (*American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.* 2009). Selubung bangunan dalam SNI 03-6389-2011 (2011) merupakan elemen bangunan yang membungkus bangunan gedung, yaitu dinding dan atap transparan atau tidak transparan yang sebagian energi termal berpindah lewat elemen tersebut. Selubung bangunan atau kulit bangunan adalah filter antara lingkungan internal dan eksternal (Gunawan 2012).



Gambar 1. Komponen Perpindahan Panas Melalui Selubung Bangunan
Sumber: Pemerintah Provinsi DKI Jakarta 2012

Pada bangunan dengan permukaan bidang kaca yang luas, perolehan panas dari jendela kaca dan dinding tersebut menjadi bagian utama beban pendinginan. Perolehan panas eksternal dari jendela dan dinding sebuah bangunan kantor tipikal di Jakarta adalah sekitar 63%, sedangkan perolehan panas internal dari peralatan, penerangan dan hunian sekitar 37% (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta 2012b).

Hasan (2014) dan Iskandar (2014) mengatakan bahwa dalam bangunan yang didominasi beban pendinginan eksternal, konsumsi energi untuk sistem HVAC terutama ditentukan oleh perpindahan panas melalui komponen selubung bangunan termasuk perpindahan panas melalui jendela, melalui dinding, melalui atap, serta laju infiltrasi dan *eksfiltrasi* melalui retak-retak, jendela dan bukaan pintu. Hal tersebut menunjukkan bahwa peluang penghematan energi sangat besar melalui selubung bangunan yang dirancang secara seksama dan tepat untuk mengurangi beban pendinginan udara (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta 2012b).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu melalui pengembangan konsep arsitektur yang lebih sadar energi. Pemborosan energi pada sistem penghawaan udara bangunan dapat diminimalisir dengan mengurangi panas eksternal yang masuk melalui selubung bangunan. *Overall Thermal Transver Value* (OTTV) adalah ukuran perolehan panas eksternal yang ditransmisikan melalui satuan luas selubung bangunan (W/m^2). Peluang penghematan energi pada selubung bangunan dapat dilakukan dengan menurunkan OTTV agar perolehan beban eksternal dapat menurun. Oleh karena itu, perencanaan dan perancangan selubung bangunan utamanya pada jendela harus dilakukan secara hati-hati untuk menghindari perolehan panas yang berlebih melalui pengaturan orientasi, luas bukaan, penentuan spesifikasi kaca (*shading coefficient*), dan penggunaan peneduh eksternal (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta 2012b).

Pengurangan beban pendingin bangunan merupakan awal dari penghematan energi yang menjadi salah satu upaya konservasi energi seperti yang dikatakan oleh Christanto (2014) bahwa konservasi merupakan upaya yang dilakukan manusia untuk melestarikan atau melindungi alam. Pada SNI 03-6390-2000 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung oleh Badan Standardisasi Nasional (2010) juga menjelaskan bahwa konservasi energi adalah upaya mengefisienkan pemakaian energi untuk suatu kebutuhan agar pemborosan energi dapat dihindarkan.

Efek penurunan persentase WWR terhadap penurunan OTTV telah banyak diuraikan pada penelitian terdahulu (Loekita 2006; Muhammad dkk. 2019; Alfian, Antaryama, dan Defiana 2015; Vijayalaxmi 2010). Beberapa penelitian juga menemukan pengaruh warna selubung terhadap OTTV (Utari 2019; Harianto dan Gozali 2013; Loekita 2006), namun penelitian ini terbatas pada warna dan material. Terdapat pula penelitian yang mengungkapkan pengaruh geometri terhadap pengkondisian udara (Dewi, Antaryama, dan Defiana 2020), namun penelitian ini hanya berfokus pada geometri halaman bangunan (*courtyard*). Sehingga dilakukan studi lebih lanjut mengenai aspek geometri bangunan yang berpengaruh terhadap OTTV dan konsumsi energi pendingin untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan hasil yang ditunjukkan dari penelitian sebelumnya.

Perhitungan OTTV dilakukan untuk mengetahui nilai perpindahan panas melalui elemen selubung bangunan yang berpengaruh besar pada bangunan bertingkat. Objek pada penelitian ini yaitu Menara Bosowa yang merupakan bangunan bertingkat tertinggi di Kota Makassar dan Indonesia Timur. Desain selubung Menara Bosowa yang didominasi oleh material penetrasi ternyata tidak memenuhi standar OTTV yang terdapat pada SNI 03-6389-2011. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengevaluasi nilai OTTV dan konsumsi energi pendingin pada bangunan bertingkat melalui perbandingan penilaian menggunakan parameter geometri bangunan berupa rasio panjang dan lebar alas bangunan dan WWR (*Window Wall Ratio*) untuk memberikan beberapa alternatif desain sebagai salah satu upaya konservasi energi di bidang arsitektur.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui OTTV dan kinerja energi pendinginan bangunan tinggi, mengevaluasi dan menganalisis pengaruh selubung menggunakan dua parameter yaitu geometri dan WWR

terhadap energi pendinginan, dan untuk menemukan desain selubung (kombinasi geometri dan WWR) yang memiliki kinerja energi pendinginan paling efisien. Objek penelitian yang akan dianalisis melalui simulasi akan mengambil sampel bangunan gedung Menara Bosowa yang berlokasi di Jl. Jendral Sudirman, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia. Penelitian dimulai dengan observasi dan pengumpulan data mengenai data fisik pada objek kemudian dilakukan eksperimen dan olah data di Laboratorium Sains dan Teknologi Bangunan Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



Gambar 2. Menara Bosowa

Menara Bosowa merupakan salah satu bangunan bertingkat tinggi dengan fungsi perkantoran yang berlokasi di Kota Makassar. Jika dilihat dari letak astronomisnya, Menara Bosowa berada pada -5, 134884 LS (Lintang Selatan); 119,414203 BT (Bujur Timur). Menara Bosowa terdiri atas 23 lantai dengan tinggi 107,30 m (tinggi tower 16,80 m ditambah tinggi semua lantai 90,50 m) dan kelilingnya 106,07 m (panjang 40 m dan lebar 27,25 m).

Variabel penelitian menurut Hatch dan Farhady (1981) adalah atribut seseorang atau objek yang mempunyai variasi antara satu orang dengan yang lain atau satu objek dengan objek yang lain. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kinerja energi pendinginan. Indikator kinerja energi pendinginan yang digunakan ada dua, yaitu OTTV dan konsumsi energi pendingin.

OTTV adalah ukuran perolehan panas eksternal yang ditransmisikan melalui satuan luas selubung bangunan (W/m^2). Transmisi radiasi matahari melalui jendela umumnya jauh lebih besar daripada melalui dinding (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta 2012b). Konsep OTTV mencakup tiga elemen dasar perpindahan panas melalui selubung luar bangunan yaitu: konduksi panas melalui dinding tidak tembus cahaya, radiasi matahari melalui kaca, dan konduksi panas melalui kaca. Untuk mengurangi beban external (panas yang masuk ke dalam bangunan akibat radiasi matahari dan konduksi melalui selubung bangunan) (Badan Standardisasi Nasional 2011b).

Nilai perpindahan termal menyeluruh (OTTV) untuk setiap bidang dinding luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu dapat dihitung melalui persamaan (SNI 03-6389-2011):

$$OTTV = \alpha [U_w \times (1-WWR)] \times T_{dek} + (SC \times WWR \times SF) + (U_f \times WWR \times \Delta T) \dots\dots\dots (1)$$

$$OTTV = \frac{\alpha \times U_w \times A_w \times T_{dek} + U_f \times A_f \times \Delta T + SC \times A_f \times SF}{A_{tot}} \dots\dots\dots (2)$$

$$OTTV = \frac{\sum_i^n a_i \times U_{wi} \times A_{wi} \times T_{Deqi} + \sum_j^m U_{fj} \times A_{fj} \times \Delta T_j + \sum_j^m SC_j \times A_{fj} \times SF_j}{\sum_i^n A_{wi} + \sum_j^m A_{fj}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

OTTV = nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (Watt/m²).

A = absorbtansi radiasi matahari.

Uw = transmitansi termal dinding tak tembus cahaya (Watt/m².K).

WWR = perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan.

Tdek = beda temperatur ekuivalen (K).

SC = koefisien peneduh dari sistem fenestrasi.

SF = faktor radiasi matahari (Watt /m²).

Uf = transmitansi termal fenestrasi (Watt/m².K).

ΔT = beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam (diambil 5 K).

Intensitas Konsumsi Energi (*Energi Use Intensity*) atau IKE (EUI) berdasarkan formula perhitungan dalam Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 38 (2012a) adalah besar energi yang digunakan suatu bangunan gedung perluas area yang dikondisikan dalam satu bulan atau satu tahun. Area yang dikondisikan adalah area yang diatur temperatur ruangnya sedemikian rupa sehingga memenuhi standar kenyamanan dengan udara sejuk disuplai dari sistem tata udara gedung. Adapun perhitungan dari IKE sebagai berikut (Badan Standardisasi Nasional 2011a):

$$\begin{aligned} \text{Intensitas Konsumsi Energi} & \dots\dots\dots (4) \\ & = \frac{\text{kWh total}}{\text{Luas bangunan}} \end{aligned}$$

Selain itu, variabel bebas dalam penelitian ini adalah selubung bangunan. Parameter desain selubung bangunan yang digunakan dalam penelitian ini ada dua, yaitu geometri dan WWR (*Window to Wall Ratio*). Geometri yang digunakan memiliki perbandingan lebar dan panjang alas bangunan yaitu 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, dan 1:5 serta akan digunakan tiga alternatif WWR yaitu 15%, 30%, 45%. Kombinasi dilakukan pada variabel bebas, dengan mengombinasikan antara lima geometri bangunan dengan tiga WWR, sehingga akan dihasilkan 15 alternatif-alternatif yang akan diteliti. Dan juga, terdapat variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel kontrol dan definisi operasional variabel

| Variabel Kontrol | Definisi Operasional |
|------------------|--|
| Geometri | Bangunan berbentuk persegi panjang dengan panjang 40 m; lebar 27,25 m; tinggi 90,5 m; Luas lantai 20.700 m ² |
| Orientasi | Barat |
| Material | Material dinding masif menggunakan ACP dan dinding bata plaster serta penetrasi menggunakan <i>reflective glass</i> 8 mm |
| Suhu ruang | 23°C – 26°C |
| Kelembaban | 60% |
| Kecepatan angin | 0,5 m/s |

Prosedur pengolahan dan analisis data dari penelitian ini diawali dengan melakukan pengamatan langsung pada objek yang akan dijadikan acuan. Kemudian akan dilakukan perhitungan OTTV dengan menentukan nilai yang memengaruhi perhitungan OTTV seperti Uw (transmitansi termal dinding tak tembus cahaya) dengan menentukan nilai R_{total} (resistansi termal) dinding masif terlebih dahulu, WWR (perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan), T_{Dek} (beda temperatur ekuivalen) ditentukan berdasarkan material paling dominan pada struktur dinding bangunan, SC (efisien peneduh dari sistem fenestrasi) ditentukan

berdasarkan keberadaan peneduh yang memengaruhi sistem fenestrasi diperoleh dari *software Window*, SF (faktor radiasi matahari) ditentukan menurut orientasi daerah Makassar, serta U_f (transmitansi termal fenestrasi) dengan menentukan nilai R_{total} fenestrasi terlebih dahulu. Setelah semua nilai diketahui, dilakukan perhitungan OTTV pada alternatif dan menginput data ke dalam *software Microsoft Excel*. Selain perhitungan secara manual, juga dilakukan simulasi. Simulasi dilakukan menggunakan *software Autodesk Ecotect Analysis* untuk memperoleh nilai konsumsi energi pendingin bangunan. Selanjutnya, hasil dari simulasi dan perhitungan secara manual akan dituangkan dalam bentuk grafik dan tulisan pada *software Microsoft Excel* dan *Microsoft Word*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan OTTV Menara Bosowa

Dilakukan perhitungan OTTV Menara Bosowa dengan data material pada selubungnya berupa nilai absorptansi radiasi matahari atau nilai penyerapan energi termal akibat radiasi matahari pada suatu bahan serta nilai konduktivitas atau kehantaran termal yang kemampuan bahan menghantarkan kalor berturut-turut ditunjukkan pada terdapat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

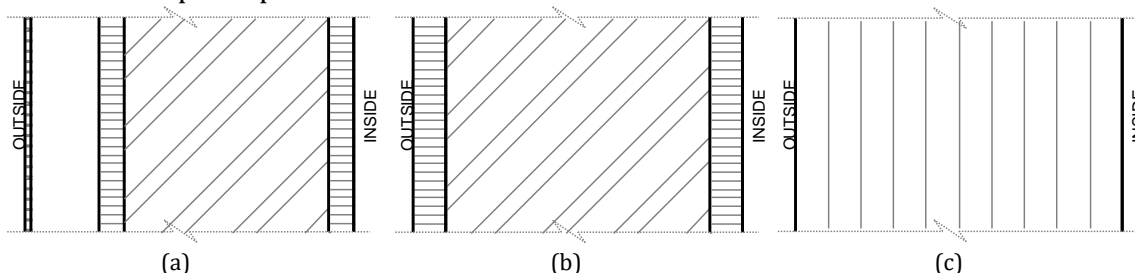
Tabel 2. Data material dinding Menara Bosowa

| Kode Material | Material | α |
|---------------|----------------------|----------|
| W1 | ACP White Light Grey | 0,25 |
| W2 | ACP Blue | 0,88 |
| W3 | Dinding Bata Plaster | 0,91 |

Tabel 3. Data material kaca Menara Bosowa

| Kode Material | Material | k |
|---------------|--------------------|------|
| F1 | Curtain Wall Green | 1,05 |
| F2 | Curtain Wall Blue | 1,05 |

1. Nilai U setiap komponen konstruksi



Gambar 3. (a) Komponen pemasangan ACP (*Aluminium Composit Panel*) pada dinding bata (b) *brick plaster* (c) *curtain wall*

Sumber: *Software Autodesk Ecotect Analysis*, 2021

Tabel 4. Nilai U material W1 dan W2

| Lapisan | t (m) | k (m.K/W) | R (m ² .K/W) |
|-------------------------------|-------|-----------|-------------------------|
| ACP 4 mm | 0,004 | 211 | 0,000019 |
| Udara 40 mm | 0,04 | | 0,16 |
| Plaster semen 12 mm | 0,012 | 0,533 | 0,0225 |
| Dinding bata 115 mm | 0,115 | 0,807 | 0,1425 |
| Plaster semen 12 mm | 0,012 | 0,533 | 0,0225 |
| Ri | | | 0,12 |
| Ro | | | 0,044 |
| R _{tot} | | | 0,5116 |
| U value (W/m ² .K) | | | 1,9548 |

Tabel 5. Nilai U material W3

| Lapisan | t (m) | k (m.K/W) | R (m ² .K/W) |
|-------------------------------|-------|-----------|-------------------------|
| Plaster semen 12 mm | 0,012 | 0,533 | 0,0225 |
| Dinding bata 115 mm | 0,115 | 0,807 | 0,1425 |
| Plaster semen 12 mm | 0,012 | 0,533 | 0,0225 |
| Ri | | | 0,12 |
| Ro | | | 0,044 |
| Rtot | | | 0,3515 |
| U value (W/m ² .K) | | | 2,8447 |

Tabel 6. Nilai U material F1

| Lapisan | t (m) | k (m.K/W) | R (m ² .K/W) |
|-------------------------------|-------|-----------|-------------------------|
| Kaca 8 mm | 0,008 | 1,053 | 0,0076 |
| Ri | | | 0,12 |
| Ro | | | 0,044 |
| Rtot | | | 0,1716 |
| U value (W/m ² .K) | | | 5,8276 |

2. Berat konstruksi *opaque* untuk T_{Dek}

Tabel 7. T_{Dek} material W1 dan W2

| Lapisan | t (m) | P (kg/m ³) | Berat (kg/m ²) |
|----------------------|-------|------------------------|----------------------------|
| ACP 4 mm | 0,004 | 2672 | 10,688 |
| Udara 40 mm | 0,04 | | |
| Plaster semen 12 mm | 0,012 | 1568 | 18,816 |
| Dinding bata 115 mm | 0,115 | 1760 | 202,4 |
| Plaster semen 12 mm | 0,012 | 1568 | 18,816 |
| Total Berat | | | 250,72 |
| T _{Dek} (K) | | | 10 |

Tabel 8. T_{Dek} material W3

| Lapisan | t (m) | ρ (kg/m ³) | Berat (kg/m ²) |
|----------------------|-------|------------------------|----------------------------|
| Plaster semen 12 mm | 0,012 | 1568 | 18,816 |
| Dinding bata 115 mm | 0,115 | 1760 | 202,4 |
| Plaster semen 12 mm | 0,012 | 1568 | 18,816 |
| Total Berat | | | 240,032 |
| T _{Dek} (K) | | | 10 |

3. Luas area setiap konstruksi di setiap arah orientasi

Tabel 9. Luas selubung tiap orientasi

| Kode Material | Luas tiap Orientasi (m ²) | | | |
|---------------|---------------------------------------|--------|---------|---------|
| | Utara | Timur | Selatan | Barat |
| W1 | 1483,2 | 809,82 | 1584 | 99,55 |
| W2 | 0 | 0 | 0 | 962,46 |
| W3 | 212,8 | 1266 | 0 | 0 |
| F1 | 1924 | 542,03 | 2036 | 1249,84 |

4. Konduksi dinding

Tabel 10. Konduksi dinding

| Orientasi | Kode Material | A (m ²) | T _{dek} (K) | U _w (W/m ² .K) | α | α.U _w . T _{dek} .A (W) |
|-----------|---------------|---------------------|----------------------|--------------------------------------|------|--|
| Utara | W1 | 1483,2 | 10 | 1,9548 | 0,25 | 7248,55 |
| Timur | W1 | 809,82 | 10 | 1,9548 | 0,25 | 3957,68 |
| Selatan | W1 | 1584 | 10 | 1,9548 | 0,25 | 7741,18 |
| Barat | W1 | 99,55 | 10 | 1,9548 | 0,25 | 486,51 |
| Barat | W2 | 962,46 | 10 | 1,9548 | 0,88 | 16556,83 |

| Orientasi | Kode Material | A (m ²) | T _{dek} (K) | U _w (W/m ² .K) | α | α.U _w . T _{Dek} .A (W) |
|------------------|---------------|---------------------|----------------------|--------------------------------------|------|--|
| Utara | W3 | 212,8 | 10 | 2,8447 | 0,91 | 5508,70 |
| Timur | W3 | 1266 | 10 | 2,8447 | 0,91 | 32772,62 |
| A _{tot} | | 6417,8 | Konduksi Dinding | | | 74272,06 |

5. Konduksi kaca

Tabel 11. Konduksi kaca

| Orientasi | Kode Material | A (m ²) | ΔT (K) | U _f (W/m ² .K) | U _f .A.ΔT (W) |
|------------------|---------------|---------------------|---------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Utara | F1 | 1924 | 5 | 5,8276 | 56061,47 |
| Timur | F1 | 542,03 | 5 | 5,8276 | 15793,66 |
| Selatan | F1 | 2036 | 5 | 5,8276 | 59324,93 |
| Barat | F1 | 1249,84 | 5 | 5,8276 | 36417,81 |
| A _{tot} | | 5751,87 | Konduksi Kaca | | 167597,88 |

6. Radiasi kaca

Tabel 12. Radiasi kaca

| Orientasi | Kode Material | A (m ²) | SC | SF (W/m ²) | A.SC.SF (W) |
|------------------|---------------|---------------------|--------------|------------------------|-------------|
| Utara | F1 | 1924 | 0,465 | 158 | 141356,28 |
| Timur | F1 | 542,03 | 0,465 | 197 | 49652,66 |
| Selatan | F1 | 2036 | 0,465 | 130 | 123076,20 |
| Barat | F1 | 1249,84 | 0,465 | 228 | 132508,04 |
| A _{tot} | | 5751,87 | Radiasi Kaca | | 446593,17 |

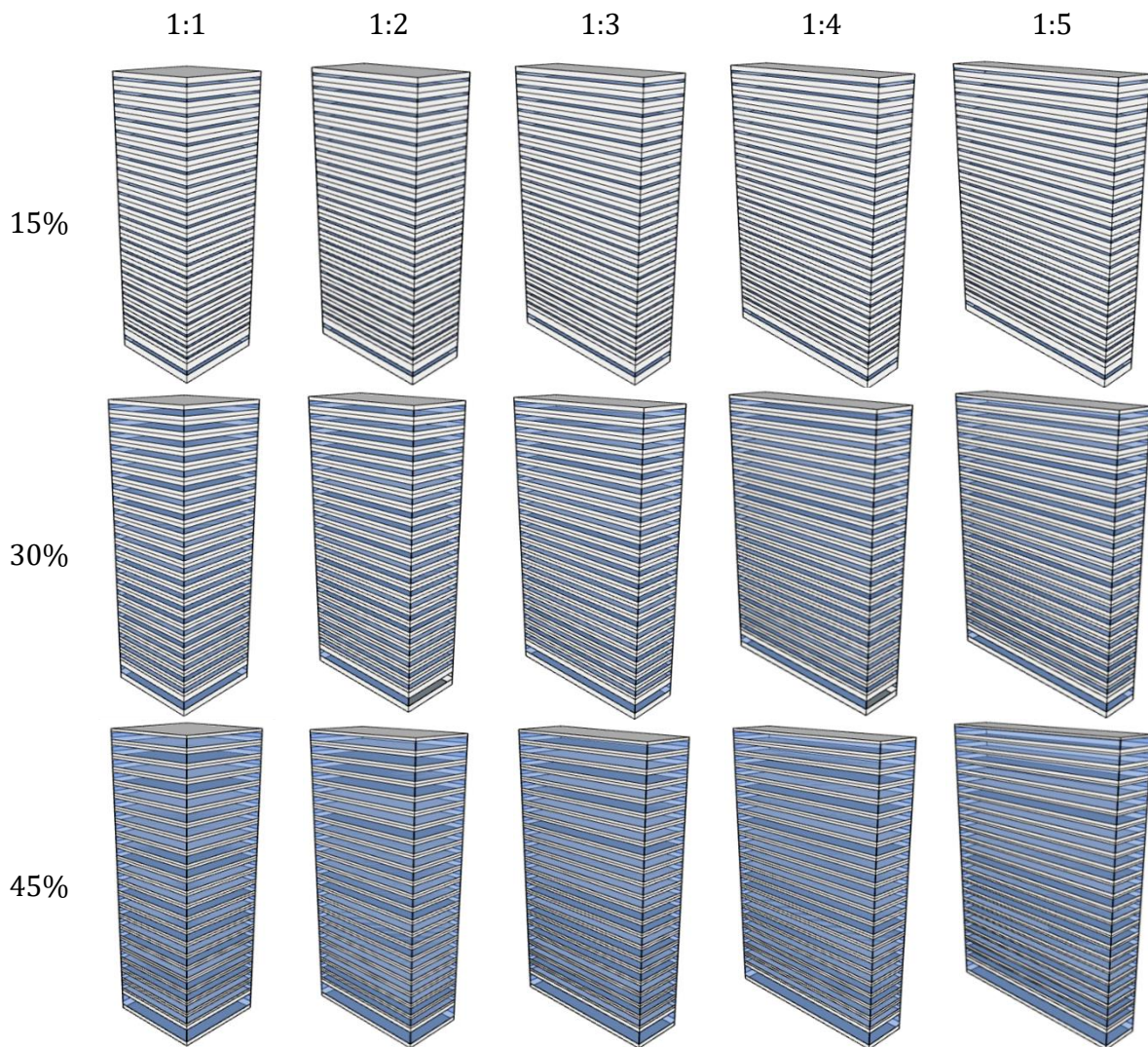
7. OTTV berdasarkan perhitungan langkah 4, 5, dan 6

$$\begin{aligned}
 \text{OTTV} &= \frac{\text{Konduksi dinding} + \text{Konduksi kaca} + \text{Radiasi Kaca}}{A \text{ dinding} + A \text{ Kaca}} \\
 &= \frac{74272,06 + 167597,88 + 446593,17}{6417,8 + 5751,87} \\
 &= \frac{688463,11}{12169,7} \\
 \text{OTTV} &= 56,57 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

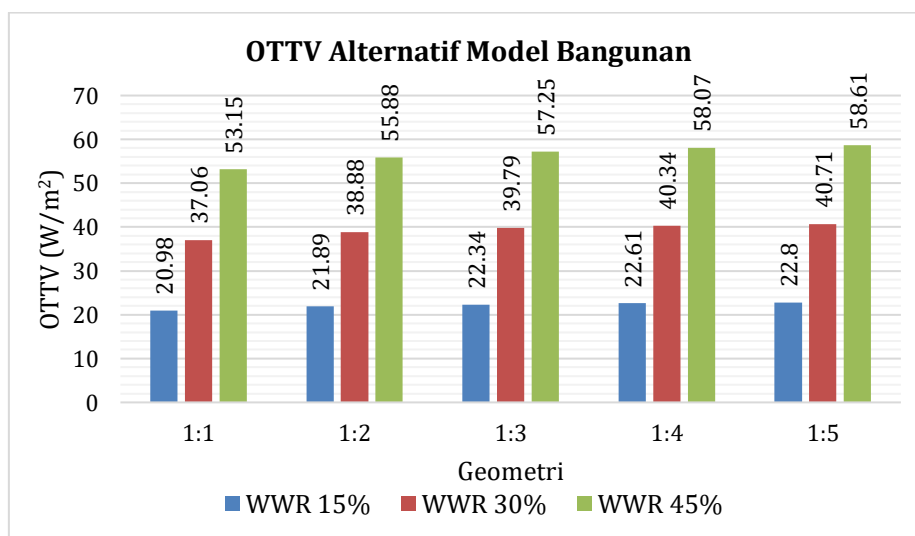
Berdasarkan perhitungan di atas, OTTV Menara Bosowa adalah 56,57 W/m². Hal tersebut menunjukkan bahwa OTTV Menara Bosowa belum memenuhi standar yang terdapat pada SNI 03-6389-2011 yaitu tidak melebihi harga perpindahan panas menyeluruh sebesar 35 Watt/m².

B. Perhitungan OTTV Alternatif

Dilakukan perhitungan OTTV pada 15 alternatif model bangunan. Alternatif yang digunakan merupakan hasil kombinasi dari 3 WWR (15%, 30%, dan 45%) dan 5 geometri bangunan (1:1, 1:2, 1:3, 1:4, dan 1:5). Visualisasi dari 15 alternatif model bangunan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Visualisasi alternatif model bangunan



Gambar 5. Grafik OTTV alternatif model bangunan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh OTTV yang berbeda pada setiap alternatif model bangunan. Pada Gambar 5 menunjukkan grafik OTTV pada model bangunan dengan orientasi ke arah barat, nilai terendah terdapat pada model bangunan dengan geometri 1:1 sebesar 20,98 W/m² pada WWR 15%, 37,06 W/m² pada WWR 30%, dan 53,15 W/m² pada WWR 45%. Adapun nilai tertinggi terdapat pada model bangunan dengan geometri 1:5 sebesar 22,80 W/m² pada WWR 15%, 40,71 W/m² pada WWR 30%, dan 58,61 W/m² pada WWR 45%. Secara keseluruhan OTTV terendah sebesar 20,98 W/m² diperoleh pada model bangunan dengan kombinasi WWR sebesar 15% dan geometri 1:1. Sedangkan OTTV tertinggi sebesar 58,61 W/m² pada model bangunan dengan kombinasi WWR sebesar 45% dan geometri 1:5.

Hal tersebut terjadi karena pengaruh dari persentase penetrasi yang digunakan pada setiap sisi selubung bangunan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar WWR dan selisih rasio antara lebar dan panjang alas suatu bangunan (semakin pipih suatu bangunan), maka akan semakin besar pula OTTV-nya, begitu pula sebaliknya. Secara keseluruhan, hasil perhitungan menunjukkan bahwa OTTV yang memenuhi standar pada SNI 03-6389-2011 yaitu kurang dari 35 W/m² hanya terdapat pada alternatif model bangunan dengan WWR 15%. Hal tersebut selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Wa Ode Alfian dkk (2015) yang mengatakan bahwa WWR berbanding lurus terhadap OTTV, semakin besar WWR maka semakin besar pula OTTV suatu bangunan dan begitu pula sebaliknya.

C. Simulasi Konsumsi Energi Pendingin Menara Bosowa

Dilakukan simulasi pada *Software Autodesk Ecotect Analysis* untuk mengetahui konsumsi energi pendingin pada Menara Bosowa. Hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 13.

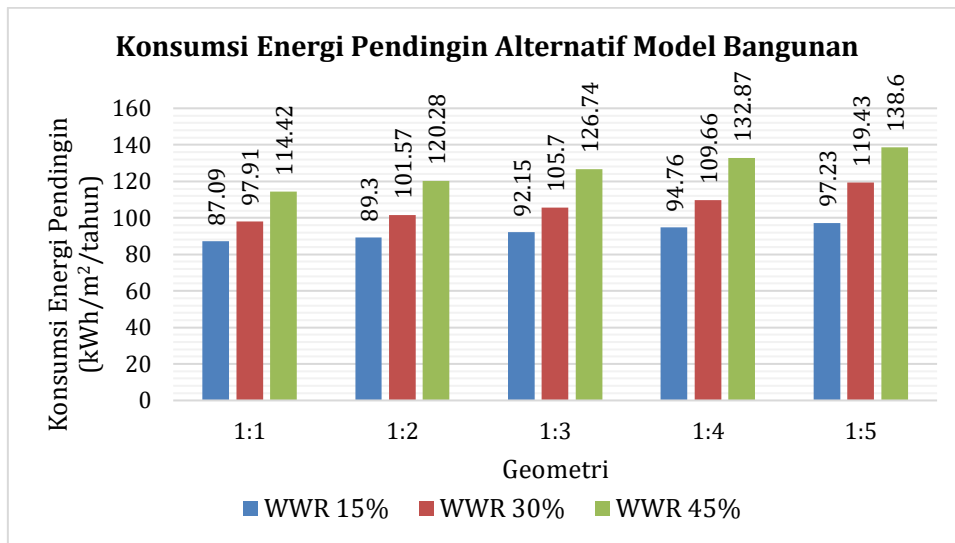
(i) **Tabel 13.** Hasil simulasi konsumsi energi pendingin Menara Bosowa

| Bulan | Pendinginan (Wh) | Total (Wh) |
|--------------------|------------------|------------|
| Januari | 160775472 | 160775472 |
| Februari | 151354000 | 151354000 |
| Maret | 196780112 | 196780112 |
| April | 204227008 | 204227008 |
| Mei | 253752480 | 253752480 |
| Juni | 238877248 | 238877248 |
| Juli | 261394448 | 261394448 |
| Agustus | 270965408 | 270965408 |
| September | 266220544 | 266220544 |
| Oktober | 260850176 | 260850176 |
| November | 199298496 | 199298496 |
| Desember | 171807712 | 171807712 |
| Total | 2636303360 | 2636303360 |
| Per m ² | 112442 | 112442 |

Data pada Tabel 13 menunjukkan hasil simulasi konsumsi energi pengkondisian udara pada Menara Bosowa. Diperoleh data beban total sebesar 2.636.303.360 Wh/tahun atau 2.636.303,360 kWh/tahun atau setara dengan 112,442 kWh/m²/tahun yang dimana merupakan kalkulasi konsumsi energi khusus pendinginan pada objek Menara Bosowa selama satu tahun.

D. Simulasi Konsumsi Energi Pendingin Alternatif

Simulasi konsumsi energi pendingin juga dilakukan pada 15 alternatif model bangunan yang merupakan kombinasi dari 3 WWR (15%, 30%, dan 45%) dan 5 geometri bangunan (1:1, 1:2, 1:3, 1:4, dan 1:5). Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik nilai konsumsi energi pendingin alternatif model bangunan

Gambar 6 menunjukkan grafik nilai konsumsi energi pendingin pada model bangunan dengan orientasi ke arah barat. Nilai terendah terdapat pada model bangunan dengan geometri 1:1 sebesar 87,09 kWh/m²/tahun pada WWR 15%, 97,91 kWh/m²/tahun pada WWR 30%, dan 114,42 kWh/m²/tahun pada WWR 45%. Adapun nilai tertinggi terdapat pada model bangunan dengan geometri 1:5 sebesar 97,23 kWh/m²/tahun pada WWR 15%, 119,43 kWh/m²/tahun pada WWR 30%, dan 138,60 kWh/m²/tahun pada WWR 45%.

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa nilai konsumsi energi pendingin akan mencapai nilai minimum pada model bangunan dengan geometri 1:1 kemudian 1:2, 1:3, 1:4, dan yang terakhir 1:5. Sama halnya dengan perhitungan OTTV, dapat disimpulkan bahwa semakin kecil selisih rasio antara lebar dan panjang alas suatu bangunan (semakin pipih suatu bangunan), maka akan semakin kecil pula konsumsi energi pendingin yang digunakan pada bangunan, begitu pula sebaliknya.

Selain itu, juga diperoleh data mengenai pengaruh WWR terhadap konsumsi energi pendingin bangunan. Menurut hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh bahwa nilai konsumsi energi pendingin berbanding lurus dengan nilai WWR pada bangunan. Nilai WWR sangat memengaruhi nilai konsumsi energi. Semakin besar nilai WWR pada bangunan, maka akan semakin besar pula tingkat konsumsi energi pendinginnya. Begitu pula sebaliknya, semakin kecil nilai WWR pada bangunan, maka akan semakin kecil pula tingkat konsumsi energi pendingin. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pramita (2013) yang mengatakan bahwa penambahan luas bukaan akan banyak memengaruhi panas yang masuk secara radiasi pada bangunan.

KESIMPULAN

Telah dilakukan penelitian pada beberapa alternatif perencanaan bangunan sebagai salah satu upaya penurunan konsumsi energi bangunan yang melalui penurunan OTTV. Dalam penelitian ini telah dianalisis melalui perhitungan dan simulasi mengenai pengaruh geometri dan WWR terhadap OTTV dan konsumsi energi pendingin bangunan. Variasi geometri alas bangunan cukup memengaruhi OTTV dan konsumsi energi pendingin. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar rasio perbandingan lebar dan panjang alas bangunan atau semakin pipih suatu bangunan maka semakin besar pula OTTV dan konsumsi energi pendingin yang digunakan.

Peningkatan nilai WWR pada selubung bangunan juga sangat memengaruhi OTTV dan konsumsi energi pendingin. Nilai WWR berbanding lurus dengan OTTV dan konsumsi energi

pendingin, semakin besar nilai WWR maka semakin tinggi pula OTTV dan konsumsi energi pendingin pada bangunan, begitu pula sebaliknya.

Pada penelitian ini juga telah dianalisis melalui perhitungan dan simulasi mengenai pengaruh OTTV terhadap konsumsi energi pendingin bangunan bahwa semakin tinggi OTTV maka akan semakin besar pula nilai konsumsi energi pendingin bangunan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kombinasi pengaplikasian geometri dan WWR yang paling efektif untuk meminimalkan OTTV dan menekan nilai konsumsi energi pendingin bangunan adalah alternatif dengan kombinasi WWR 15% dengan geometri 1:1.

DAFTAR REFERENSI

- Alfian, Wa Ode, IGN Antaryama, and Ima Defiana. 2015. "Analisa Konservasi Energi Pada Bangunan Kantor Pemerintah Di Surabaya," no. Proceedings of The 2nd ECO-Architecture Conference (EAC 2) Architecture Department, Qur'anic Science University Wonosobo, Central Java, Indonesia, April 6th – 7th, 2015: 242–48.
- American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2009. *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. Vol. 30329.
- Badan Standardisasi Nasional. 2010. *Sni 03-6390-2010, Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung*.
———. 2011a. *SNI 6196:2011, Prosedur Audit Energi Pada Bangunan Gedung*.
———. 2011b. "SNI 6389:2011, Konservasi Energi Selubung Bangunan Pada Bangunan Gedung."
- Christanto, Joko. 2014. "Ruang Lingkup Konservasi Sumber Daya Alam Dan Lingkungan." *Konservasi Sumber Daya ALam*, 1–29.
- Dewi, Putri Melati, I Gusti Ngurah Antaryama, and Ima Defiana. 2020. "Effect of Courtyard Aspect Ratio on Annual Cooling Energy of Highrise Apartment in Surabaya." *IPTEK The Journal for Technology and Science*.
- Green Building Specialist. 2019. "7 Kriteria EEC (Energi Efficiency and Conservation) Untuk Existing Building." Green Building Specialist. 2019.
- Gunawan, Billy dkk. 2012. *Buku Pedoman Energi Efisiensi Untuk Desain Bangunan Gedung Di Indonesia*.
- Harianto, Feri, and Anastasia Fairanie Gozali. 2013. "Konservasi Energi Selubung Bangunan Pada Gedung Graha Galaxy Surabaya." *Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*, 73–81.
- Hassan, Shalahuddin. 2014. *Pelaksanaan Efisiensi Energi Di Bangunan Gedung*.
- Hatch, Evelyn, and Hossein Farhady. 1981. *Research Design and Statistics for Applied Linguistics*. Tehran: Rahmana Publication.
- Hoesin, M. Shahreza. 2019. "Studi IFC Dan GBC Indonesia: Bangunan Gedung Hijau 30-80% Lebih Hemat Air & Listrik." Green Building Council Indonesia. 2019.
- Iskandar, Soetyono. 2014. *Perpindahan Panas*. 1st ed. Yogyakarta: Deepublish.
- Loekita, Sandra. 2006. "Analisis Konservasi Energi Melalui Selubung Bangunan." *Civil Engineering Dimension* 8 (2): 93–98.
- Muhammad, Alvin Hisra, Ery Djunaedy, Wahyu Sujatmiko, and Amaliyah R.I.U. 2019. "Analisis Pengaruh Ottv Terhadap Intensitas Konsumsi Energi Pada Berbagai Tipe Bangunan" 6 (2): 4994–5001.
- Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. 2012a. *Peraturan Gubernur No. 38 Tahun 2012*. Jawa Barat.
———. 2012b. *Selubung Bangunan. Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta*. Vol. 1.
- Pramita, Dian. 2013. "Pengaruh Komposisi Dan Material Selubung Pada Perkantoran Bertingkat Menengah Surabaya." *Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya* 2: 120–27.
- Utari, R P. 2019. "Analisa Nilai Overall Thermal Transfer Value (Ottv) Sebagai Konservasi Energi Selubung Pada Bangunan Berdasarkan Sni 03-6389" *Prosiding SENTRA (Seminar Teknologi Dan ...)*, 40–47.
- Vijayalaxmi, J. 2010. "Concept of Overall Thermal Transfer Value (OTTV) in Design of Building Envelope to Achieve Energy Efficiency." *International Journal of Thermal and Environmental Engineering*.