

PENGARUH WINDOW TO WALL RATIO (WWR) UNTUK KENYAMANAN TERMAL PADA BANGUNAN KANTOR HEMAT ENERGI

Berdasarkan Data Iklim Jakarta

Nurina Vidya Ayuningtyas¹, Jatmika Adi Suryabrata², dan Ahmad Sarwadi³

¹Dosen Arsitektur, Universitas Widya Mataram, Yogyakarta

²Dosen Arsitektur, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta

³Dosen Arsitektur, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta

¹Surel: nurina.vidya@gmail.com

ABSTRAK: Sejauh ini bangunan bertingkat menggunakan sistem pendingin buatan hanya memperhatikan Air Temperature (T_a) dalam sistem pendingin / HVAC, tetapi yang harus diperhatikan untuk mendapatkan kenyamanan termal manusia adalah nilai Operative Temperature. Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh Window to Wall Ratio untuk mendapatkan suhu operasi yang efektif dan mengetahui dampaknya terhadap naiknya energi bangunan. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan oleh fixed setting T_a 25 ° C menunjukkan bahwa Top Nothing mencapai kenyamanan 25 ° C sesuai dengan standar SNI 03-6572-2001. Simulasi lanjutan dilakukan dengan menurunkan pengaturan T_a dari 25 ° C menjadi 20 ° C, 18 ° C dan 15 ° C. Variasi WWR memiliki pengaruh besar pada peningkatan nilai Top di dalam ruangan. Persentase yang lebih tinggi dari WWR akan mendapatkan lebih banyak sinar matahari. Pengaturan suhu T_a yang lebih rendah, konsumsi energi gedung yang lebih tinggi. Pada variasi WWR, peningkatan intensitas konsumsi energi 3,68 kWh / m² / 1 ° C.

Kata kunci: window to wall ratio (WWR), selubung bangunan, energi, termal

PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini didapatkan informasi bahwa keterbatasan energi dan pemanasan global menjadi hal yang harus ditanggapi secara lebih serius. Bangunan adalah satu dari pengkonsumsi energi terbesar dunia. Kebutuhan energi yang besar pada bangunan dapat diturunkan jika mampu menerapkan konsep-konsep pembangunan yang adaptif terhadap lingkungan serta hemat dalam penggunaan energy namun tetap nyaman dirasakan oleh penghuni bangunan.

Jika membicarakan mengenai kenyamanan termal dalam ruang tentu tidak akan lepas dengan menjadikan indikator suhu sebagai tolok ukurnya. Indikator yang sebenarnya harus diperhatikan dalam mencapai tingkat kenyamanan manusia yang menghuni ruang tersebut adalah nilai *Operative Temperature*, dimana *Operative Temperature* adalah merupakan nilai rata-rata penjumlahan antara *air temperature* dan *mean radiant temperature* serta merupakan suhu yang dirasakan langsung oleh kulit manusia (Jain, 2011).

$$t_o = \frac{(t_a + t_{mr})}{2}$$

t_o : Operative Temperature
 t_a ; Air temperature
 t_{mr} : Mean Radian Temperature

Sejauh ini pada bangunan berlantai banyak yang menggunakan penghawaan buatan hanya memperhatikan *air temperature* dalam sistem pendinginan/HVAC. Sebenarnya yang harus diperhatikan dalam mencapai tingkat kenyamanan manusia adalah nilai *Operative*

Temperature, dimana *Operative Temperature* adalah suhu yang dirasakan langsung oleh kulit manusia.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besar kecilnya pengaruh besar kecilnya Window to Wall Ratio (WWR) dalam mencapai nilai operative temperature yang optimal berdasar data iklim. Selain itu juga dikaitkan dengan besarnya konsumsi energi dalam bangunan ketika dipengaruhi oleh menurunnya nilai *Operative Temperature* jika diterapkan di kota Jakarta.

METODE PENELITIAN

a. Metode Penelitian

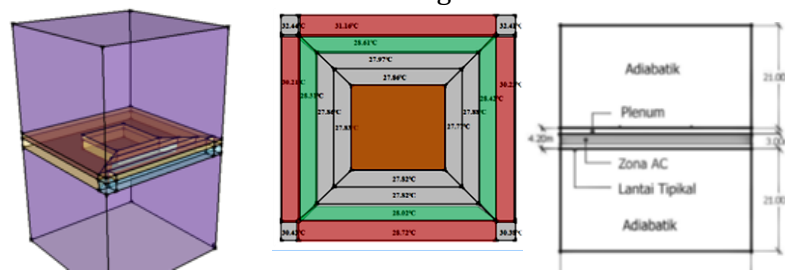
Jenis penelitian ini adalah penelitian dengan menggunakan metode simulasi melalui model komputer (*computer model*). Proses simulasi dalam penelitian ini dilakukan secara komputerisasi dengan bantuan perangkat lunak utama yang digunakan adalah EnergyPlus v8.1 dan *plugins* Open Studio versi 0.7 yang dijalankan pada perangkat lunak Google Sketchup v7.0. Perangkat lunak lain yang digunakan di luar perangkat lunak utama adalah aplikasi pengolah teks 31 Notepad++ untuk penyuntingan massal sejumlah besar *file* IDF sebelum disimulasikan, dan Microsoft Office Excel untuk pengolahan data numerik hasil simulasi.

Simulasi hanya dilakukan pada satu lantai yang berada di tengah-tengah dari total ketinggian bangunan. Menurut Ellis & Torcellini (2005) dalam Syahrullah (2012: 45), berdasarkan pada hasil analisis yang dilakukan terhadap fitur *multiplier* pada software EnergyPlus, dikatakan bahwa simulasi terhadap lantai tunggal dengan multiplier mampu memberikan hasil perhitungan yang mendekati rata-rata dari seluruh efek yang didapatkan gedung secara keseluruhan dengan tingkat kesalahan kurang dari 1% dengan syarat lantai tersebut berada di ketinggian tengah-tengah dari total ketinggian bangunan.

Ketika ingin menjalankan simulasi menggunakan enetgyplus software diperlukan adanya data iklim yang digunakan untuk menggambarkan kondisi iklim tempat dimana bangunan tersebut berada. Data iklim yang digunakan adalah data iklim dengan lokasi Jakarta. Koordinat yang digunakan adalah garis lintang 6,204° LS dan garis bujur 106,821° BT pada ketinggian 10 meter di atas permukaan laut. Dipilih kota Jakarta karena dianggap mampu mewakili kondisi maksimum iklim di Indonesia.

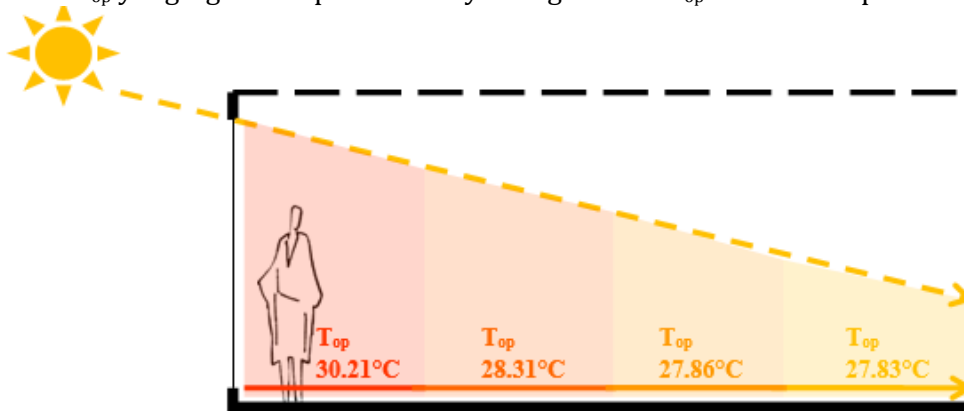
b. Objek Penelitian

Simulasi hanya dilakukan pada satu lantai tipikal pada posisi di tengah-tengah ketinggian total bangunan. Dimensi dari lantai hipotetik ini adalah 40m x 40m dengan ketinggian floor to floor 4.2 m dan floor to ceiling 2.8 m. Dipilih dimensi 40m x 40m karena rata-rata jarak minimal rata-rata gedung perkantoran antara dinding terluar dengan core 12.5 m. Lantai yang disimulasikan terbagi atas lima zona yaitu empat zona aktifitas perkantoran (berpendingin udara) yang terletak sesuai dengan arah mata angin dan satu zona core pada pusat bangunan (tidak berpendingin udara). Zona aktifitas perkantoran antara lain yaitu zona utara, timur, selatan dan barat. Lantai yang berada di atas dan bawah dari lantai yang disimulasikan akan dimodelkan sebagai adiabatik.



Gambar 1. Modeling Bangunan Hipotetik
Sumber: Analisis Pribadi, 2015

Tipe pemodelan bangunan ini dibagi dalam 6 bagian dari setiap orientasi, yaitu 2 bagian *corner* atau sudut yang mana mendapat cahaya matahari dari dua arah dan 4 bagian kedalaman. Antar kedalaman diambil ajrak 3.5m dikarenakan pada jarak tersebut didapat data suhu T_{op} yang signifikan perbedaannya dengan suhu T_{op} zona dalam pertama.



Gambar 2. Potongan Ruang Dengan Peroehan Top Tiap Jarak 3.5 M.

Sumber : Analisa Pribadi, 2016.

Jika dilihat dari gambar potongan diatas, Nampak jelas sekali perbedaan antara suhu Top zona perimeter dengan zona sebelahnya, hal ini dikarenakan zona perimeter mendapat pengaruh eksternal yang paling signifikan dan selain itu dipilih kedalaman 3.5m karena pada jarak tersebut perbedaan suhu sangatlah tampak jelas, inilah yang menjadi alasan mengapa pengambilan data hanya diambil pada zona perimeter saja.

Fungsi bangunan yang akan diteliti adalah perkantoran dengan seting *layout open plan* untuk menyederhanakan kalkulasi beban pendinginan udara (*cooling load*). Waktu kerja ditetapkan 5 hari dalam seminggu dimulai pukul 08.00-18.00. Lapisan konstruksi bangunan meliputi:

- Lapisan dinding luar menggunakan beton ringan aerasi blok hebel, konstruksi kaca menggunakan 3varian kaca dengan nilai SHGC yang berbeda.
- Lapisan dinding dalam menggunakan *gypsum board*. 19mm
- Lapisan lantai menggunakan keramik

c. Variabel Penelitian

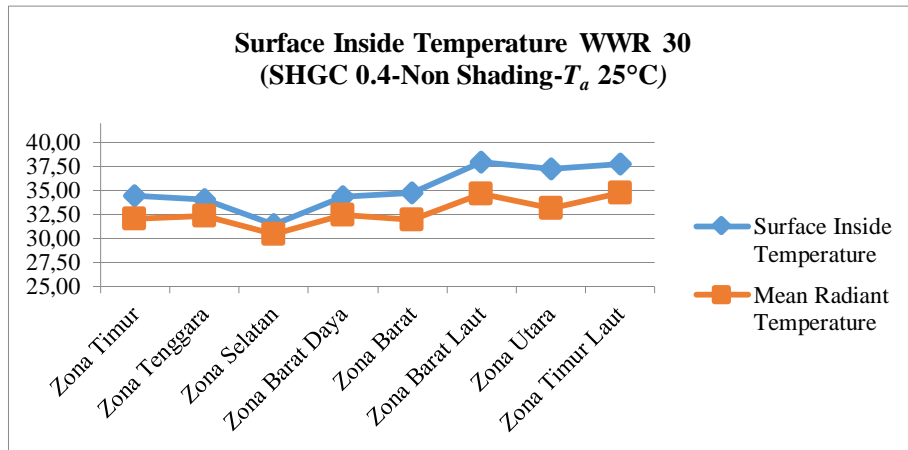
Variabel yang disimulasikan meliputi (diterapkan pada setiap orientasi) luasan bidang kaca (WWR 30%; 40%; 50%; 60%; 65%). Pada penelitian ini dianggap WWR 10%-20% sangat jarang diaplikasikan dalam desain bangunan gedung sehingga tidak diaplikasikan sebagai variabel. Selain itu juga mengalikaikan *air temperature* sebagai variabel, dimana variasinya meliputi T_a 20°C, 18°C, 15°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

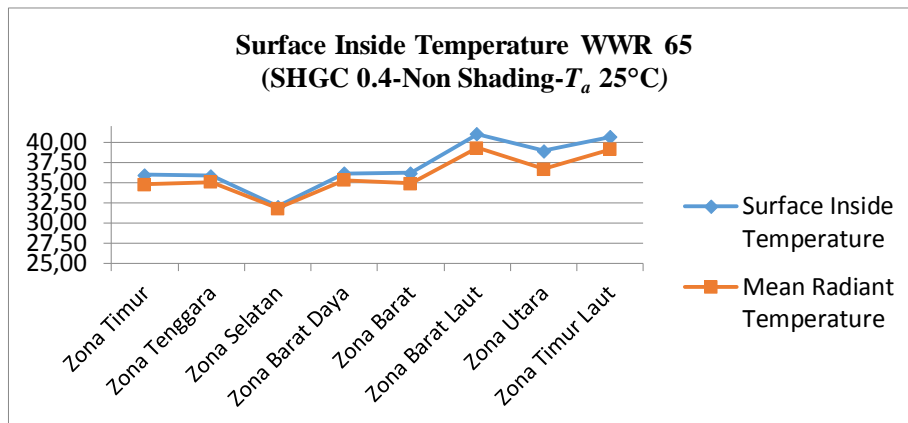
3.1. Pengaruh Variasi WWR terhadap Nilai *Mean Radiant Temperature*

Besar kecilnya bukaan sangatlah berpengaruh terhadap nilai *Mean Radiant Temperature* (T_{mrt}). Dalam simulasi kali ini dilakukan dengan mengaplikasikan beberapa besar bukaan dari 30% hingga 65%, dengan mengunci SHGC kaca pada nilai 0.4 (tipe Stopsol Dark Blue) dan nilai air temperature pada *setting* HVAC sebesar 25° C tanpa menggunakan *shading*. Perbandingan ini dilakukan guna menunjukkan pengaruh kenaikan angka WWR terhadap perubahan nilai T_{mrt} . Jika semakin besar WWR berarti akan semakin besar pula luas bidang kaca dan semakin kecil luas dinding masif. Semakin besar luas bidang kaca akan memberikan efek semakin besar pula panas yang akan masuk ke dalam ruangan yang secara langsung akan berdampak terhadap nilai T_{mrt} .

Sudah dijelaskan diatas bahwa salah satu yang memiliki pengaruh besar terhadap T_{MRT} yaitu *surface inside temperature*. Ketika dilakukan simulasi didapatkan hasil bahwa nilai *surface inside temperature* selalu berada diatas nilai T_{MRT} . Hal ini dikarenakan *surface inside temperature* dipengaruhi olehselubung bangunan yang mendapatkan panas dari luar bangunan secara langsung, sedangkan T_{MRT} merupakan nilai rata-rata antara *surface inside temperature* dengan temperature-temperatur permukaan benda di sekeliling ruangan.



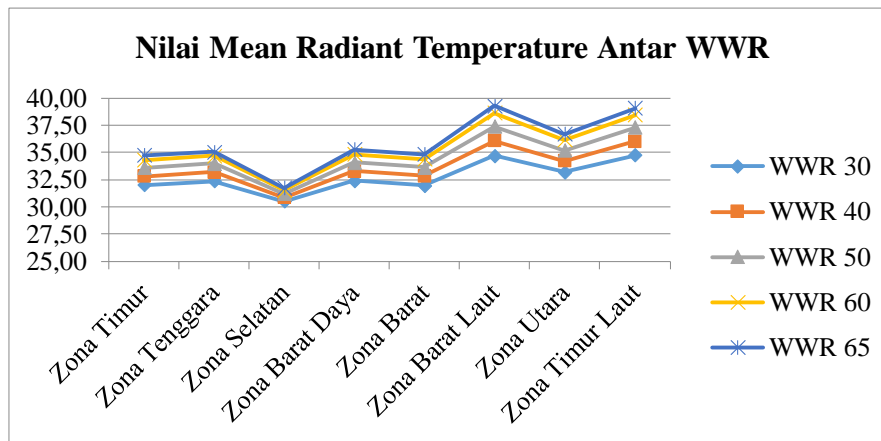
Gambar 3. Grafik Nilai Surface Inside Temperature pada WWR 30%
 Sumber : Analisa Pribadi, 2016.



Gambar 4. Grafik Nilai Surface Inside Temperature Pada WWR 65%
 Sumber : Analisa Pribadi, 2016.

Jika dilihat dari grafik-grafik diatas, dapat dilihat semakin besar WWR semakin sedikit selisih antara *surface inside temperature* dengan nilai T_{MRT} . Kondisi ini dikarenakan semakin besar WWR akan semakin besar pula panas matahari yang masuk, sehingga semakin banyak panas atau suhu yang dipantulkan di dalam bangunan. Oleh karena itu mempengaruhi semakin besarnya nilai T_{MRT} yang akan didapat. Nilai *surface inside temperature* terendah pada WWR 30% zona selatan yaitu 31.44°C, sedangkan nilai tertinggi pada WWR 65 zona barat laut sebesar 40.98°C.

Selanjutnya berdasar dari simulasi yang telah dilakukan, didapatkan hasil T_{MRT} yang dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 5. Grafik Nilai Mean Radiant Temperature Antar WWR
 Sumber : Analisa Pribadi, 2016.

Berdasarkan grafik diatas, didapatkan hasil simulai yang menunjukkan semakin besar rasio bidang kaca akan semakin besar pulai nilai T_{mrt} yang didapatkan. Selain itu dapat dilihat bahwa hasil simulasi menunjukkan pengaruh WWR terhadap nilai T_{mrt} dari setiap orientasi diperoleh bahwa paling tinggi pada orientasi barat laut dan paling rendah pada orientasi selatan. Rentang nilai T_{MRT} ketika dilakukan variasi WWR berada pada suhu 30.49°C-39.26°C. Dari setiap penurunan 10% WWR dapat menurunkan suhu T_{mrt} kurang lebih sebesar 1°C-1.5°C.

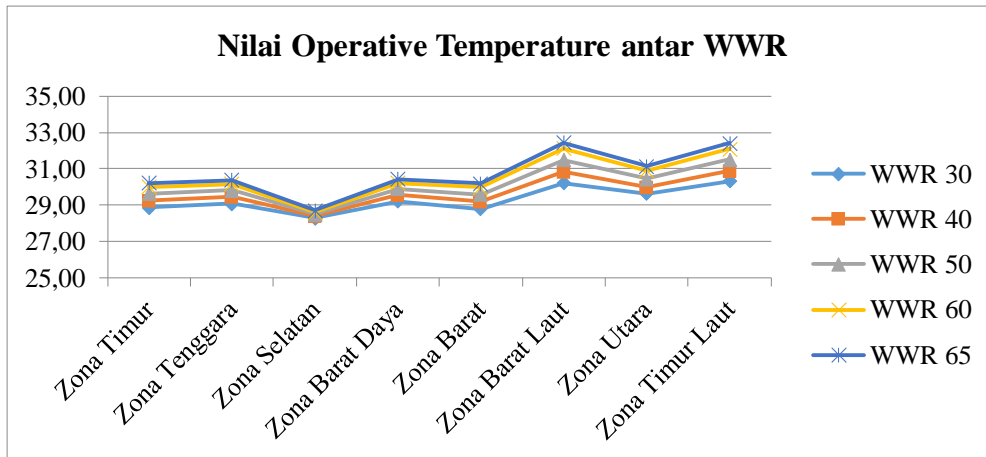
Dari penjelasan di atas dapat diuraikan bahwa bidang kaca memberikan sumbangan terbesar panas dalam ruangan dibandingkan dengan bidang masif atau dinding. Dengan demikian, menambah luas bidang dinding akan mengurangi nilai T_{mrt} sehingga panas yang akan masuk ke bangunan akan semakin sedikit.

Tabel 2. Perbandingan Perolehan Nilai Maksimum dan Minimum Surface Inside Temperature dengan Mean Radiant Temperature

	Variasi WWR	Variasi SHGC	Variasi Shading
Surface Inside Temperature Minimum	31.44°C	30.40	31.40°C
Surface Inside Temperature Maksimum	40.98°C	39.18	38.85°C
Rentang penurunan Surface Inside Temperature	0.2°C-1°C	1.2°C-4.5°C	1°C-3°C
	Variasi WWR	Variasi SHGC	Variasi Shading
T_{mrt} Minimum	30.49°C	30.01°C	30.54°C
T_{mrt} Maksimum	39.26°C	39.09°C	36.07°C
Rentang penurunan T_{mrt}	1°C-1.5°C	1°C-3.5°C	0.2°C-2°C

3.2. Pengaruh Variasi WWR terhadap Nilai Operative Temperature

Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan, nilai T_{op} paling rendah ketika memvariasikan WWR 30%-65% dengan kondisi SHGC tetap 0,4 dan T_a 25°C tercapai pada kondisi WWR 30% yaitu 28.31°C dan nilai T_{op} tertinggi pada WWR 65% yaitu 32.44°C. Setiap penurunan 10% WWR mampu menurunkan nilai T_{op} sebesar 1°C hingga 2°C sebagaimana terlihat dalam grafik dibawah ini.



Gambar 6. Grafik Nilai Operative Temperature Antar WWR
 Sumber : Analisa Pribadi, 2016.

Analisis simulasi lanjutan yang dilakukan yaitu dengan melihat perolehan konsumsi energi yang dihabiskan oleh bangunan. Besar kecilnya suhu atau temperature T_{op} erat kaitannya dengan besar kecilnya energi yang dikonsumsi oleh bangunan, hal ini dikarenakan semakin rendah nilai T_{op} yang dirasakan maka akan semakin besar pula konsumsi energi yang digunakan guna mendinginkan ruangan tersebut, namun walaupun semakin besar konsumsi energi tetapi para penghuni bangunan akan mencapai tingkat kenyamanan yang optimal.

Table dibawah ini merupakan table perolehan konsumsi energi dari WWR 40 dibanding dengan WWR 65 dalam kondisi HGC tetap 0.4, T_a 25°C serta tanpa menggunakan shading.

Tabel 3. Tabel Perolehan Konsumsi Energi antar WWR

WWR 40 SHGC 04	
	Electricity Intensity [kWh/m ²]
Lighting	26.58
HVAC	58.48
Other	28.24
Total	113.3

WWR 65 SHGC 04	
	Electricity Intensity [kWh/m ²]
Lighting	26.58
HVAC	63.95
Other	28.24
Total	118.77

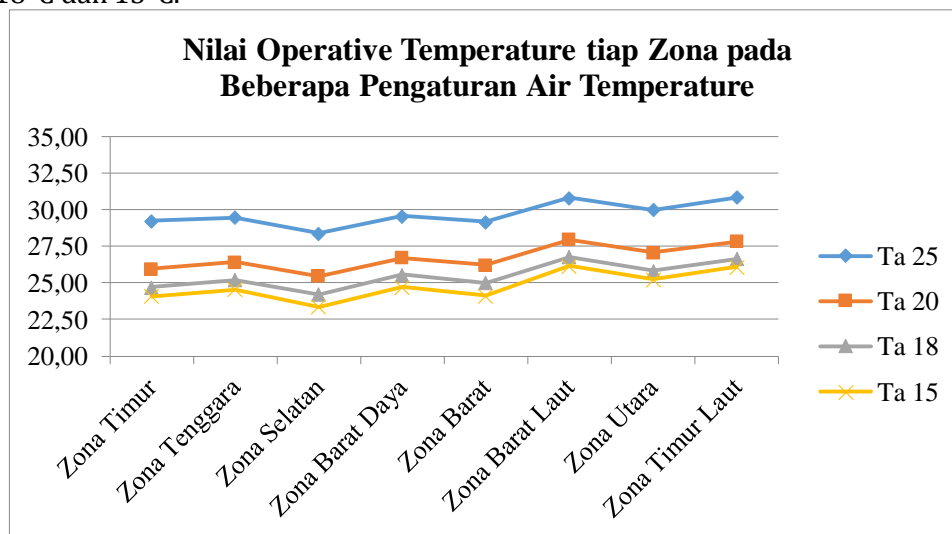
Selisih besarnya konsumsi energi antara WWR 40% dengan WWR 65% sebesar 5 kWh/m². Hasil tersebut menunjukkan semakin besar WWR akan semakin besar pula konsumsi energi. Hal ini dikarenakan semakin besar WWR maka akan semakin besar pula panas yang akan diterima bangunan. Dengan kondisi ini maka semakin besar pula energi yang dibutuhkan untuk mampu mendinginkan bangunan.

Tabel 4. Tabel Perbandingan Nilai Operative Temperature antar Variabel

	Variasi WWR	Variasi SHGC	Variasi Shading
Nilai T_{op} terendah	28.31°C	28.25°C	28.61°C
Nilai T_{op} tertinggi	32.44°C	32.37°C	30.83°C
Rentang penurunan	0.1°C-0.6°C (Tiap penurunan 10% WWR)	0.2°C-1.7°C (Tiap penurunan SHGC sebesar 0.2)	1.5°C (Non shading-Shading VSA 70)

3.3. Pengaruh Air Temperature Terhadap Nilai Operative Temperature

Nilai suhu T_{op} yang terendah ketika menggunakan pengaturan T_a sebesar 25°C yaitu 28.25°C. Hal ini menunjukkan bahwa yang selama ini sudah dilakukan dalam mendesain kenyamanan dalam ruang tidak memenuhi standar yang sesuai. Dengan diketahuinya hasil ini, kemudian dilakukan simulasi lanjutan dengan menjadikan *air temperature* (T_a) sebagai variabel dan mengubah pengaturan T_a hingga mencapai nilai T_{op} sesuai nilai kenyamanan yang dicantumkan dalam SNI 03-6572-2001 yaitu 25°C. Variabel T_a yang digunakan yaitu 20°C, 18°C dan 15°C.

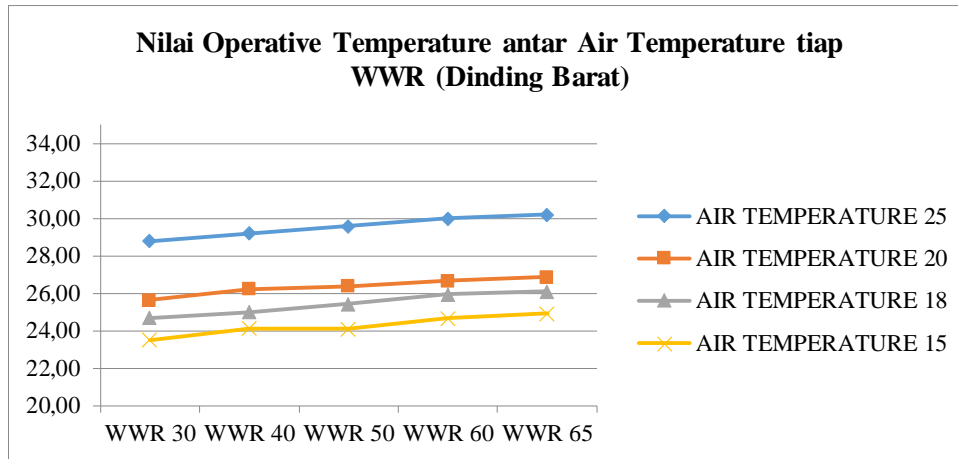


Gambar 7. Grafik Nilai Operative Temperature Ketika Dilakukan Penurunan Pengaturan Air Temperature

Sumber : Analisa Pribadi, 2016.

Berdasarkan hasil simulasi lanjutan yang sudah dilakukan dengan mengubah pengaturan T_a dan mengunci WWR di 40%, SHGC 0.4, tanpa menggunakan shading dapat dilihat bahwa nilai T_{op} menurun dengan pengaturan T_a dibawah 25°C. Ketika pengaturan T_a diturunkan menjadi 20°C, nilai T_{op} terendah dicapai sebesar 25.47°C dan nilai tertinggi sebesar 27.95°C. Langkah kedua adalah menurunkan pengaturan T_a menjadi 18°C, hasil yang didapatkan yaitu nilai T_{op} terendah sebesar 24.23°C dan nilai tertinggi sebesar 26.79°C. Simulasi lanjutan masih dilakukan yaitu dengan menurunkan pengaturan T_a menjadi 15°C. Simulasi ini menunjukkan hasil hampir keseluruhan sisi mencapai angka dibawah 25°C kecuali area barat laut dan timur laut. Hasil T_{op} terendah pada pengaturan T_a 15°C ini yaitu 23.38°C dan nilai tertinggi dicapai sebesar 26.17°C.

Dari rangkuman hasil simulasi lanjutan yang telah dilakukan, dapat dijelaskan bahwa dengan menurunkan pengaturan T_a makan akan menurunkan pula suhu T_{op} dalam ruangan yang secara nyata dirasakan oleh penghuni ruangan. Di bawah ini akan ditunjukkan grafik dan tabel hasil dari simulasi pada beberapa sisi orientasi yang akan menunjukkan besarnya nilai T_{op} tiap WWR, SHGC dan shading pada tiap pengaturan T_a yang berbeda-beda.



Gambar 8. Grafik Nilai Operative Temperature Ketika Dilakukan Penurunan Pengaturan Air Temperature Antar WWR
 Sumber : Analisa Pribadi, 2016.

Grafik di atas merupakan grafik modifikasi T_a pada WWR 30%-65% pada dinding barat. Ketika dilakukan perubahan setting T_a menjadi 20°C yang memenuhi nilai T_{op} sesuai standar SNI yaitu nilai kenyamanan penghuni sebesar 25°C hanyalah WWR 30%. Kemudian dilakukan perubahan lagi pada pengaturan T_a menjadi 18°C, hasil yang didapat yaitu yang mampu memenuhi standar T_{op} SNI yaitu WWR 35%, WWR 40% dan WWR 50%. Modifikasi terakhir yang dilakukan yaitu dengan mengubah pengaturan T_a menjadi 15°C dan keseluruhan variable WWR dari 35%-65% mampu mencapai nilai $T_{op} \pm 25^\circ\text{C}$.

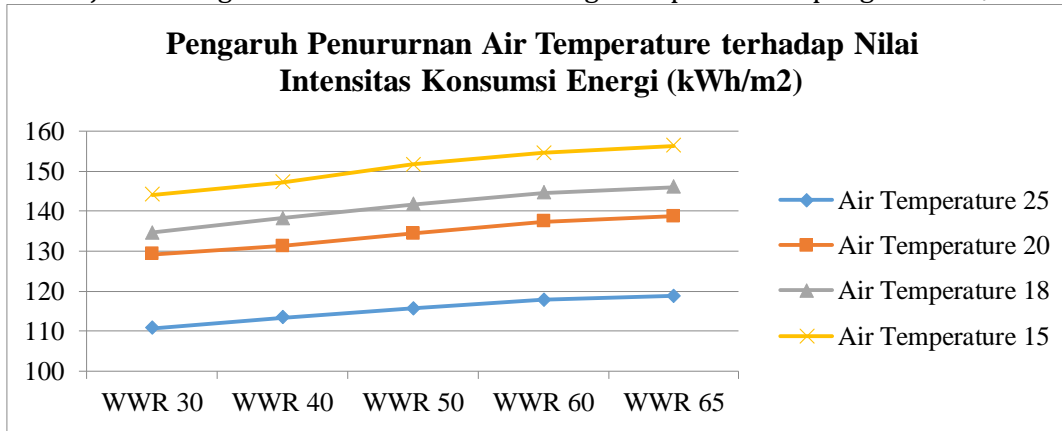
Grafik di atas merupakan hasil simulasi dengan mengunci variable WWR di 40%, SHGC 0.4 dan tanpa shading. Hasilnya dapat dilihat jika kondisi yang dapat mencapai $T_{op} \pm 25^\circ\text{C}$ pada segala arah orientasi yaitu pada pengaturan T_a sebesar 18°C dan 15°C. Berdasarkan penjelasan diatas dapat dirangkum bahwa WWR yang hampir selalu terpenuhi untuk mencapai tingkat kenyamanan T_{op} 25°C yaitu antara 30%-40%. Jika ingin menerapkan desain yang menggunakan kaca keseluruhan *floor to floor* sangatlah kecil kemungkinan untuk mencapai tingkat kenyamanan yang sesuai dengan kenyamanan manusia yaitu 25°C, ataupun dapat dipenuhi tetapi bangunan tersebut akan mengkonsumsi energi yang sangatlah tinggi untuk mencapai tingkat kenyamanan yang sesuai.

3.4. Pengaruh Penurunan Air Temperature Terhadap Intensitas Konsumsi Energi

Berdasarkan simulasi lanjutan yang telah dilakukan, diketahui bahwa pengaturan T_a yang selama ini diterapkan pada pengaturan sistem penghawaan bangunan tidaklah tepat karena suhu yang dirasakan penghuni bangunan tidak mencapai nilai standar yang ditetapkan SNI 03-6572-2001 sebesar 25°C. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa yang seharusnya dilakukan yaitu dengan menurunkan pengaturan T_a hingga mencapai suhu yang sesuai standar sebesar 25°C. Simulasi yang mengubah pengaturan T_a telah dilakukan yaitu dengan menurunkan variabel pengaturan T_a menjadi 20°C, 18°C dan 15°C.

Dengan dilakukan penurunan T_a hingga mencapai suhu T_{op} yang sesuai standard, maka akan secara langsung berdampak pada intensitas konsumsi energi bangunan. Semakin kecil pengaturan suhu T_a maka akan semakin tinggi pula konsumsi energi

bangunan tersebut. Secara logika akan memberatkan pengelola gedung, namun secara kenyamanan akan sangat berdampak baik bagi penghuni bangunan tersebut. Grafik di bawah ini merupakan grafik hasil simulasi pada beberapa variasi WWR yang mampu menunjukkan tingkat kenaikan konsumsi energi dari perubahan pengaturan T_a .



Gambar 9. Grafik Nilai Kenaikan Intensitas Konsumsi Energi Setelah dilakukan Penurunan Pengaturan Air Temperature

Sumber : Analisa Pribadi, 2016.

Tabel dibawah ini menunjukkan hasil simulasi dengan SHGC tetap sebesar 0,4, WWR 30%-65% dan pengaturan T_a diturunkan awal mula dari 25°C menjadi 20°C, 18°C dan 15°C.

Tabel 5. Nilai Intensitas Konsumsi Energi (kWh/m²) antar WWR berdasar Penurunan Pengaturan Air Temperature

	Intensitas Konsumsi Energi (kWh/m ²)				
	WWR 30	WWR 40	WWR 50	WWR 60	WWR 65
Air Temperature 25	110.65	113.30	115.62	117.78	118.77
Air Temperature 20	129.17	131.30	134.37	137.39	138.73
Air Temperature 18	134.57	138.24	141.74	144.62	145.99
Air Temperature 15	144.10	147.30	151.71	154.56	156.41

Tabel 6. Selisih Nilai Intensitas Konsumsi Energi (kWh/m²) antar WWR

Intensitas Konsumsi Energi (kWh/m ²)	Selisih IKE WWR 30	Selisih IKE WWR 40	Selisih IKE WWR 50	Selisih IKE WWR 60	Selisih IKE WWR 65	Rata-rata Selisih IKE	Rentang Kenaikan IKE (kWh/m ²)
T_a 25&20	18.52	18.00	18.75	19.61	19.96	18.97	18-20
T_a 25&18	23.92	24.94	26.12	26.84	27.22	25.81	24-27.5
T_a 25&15	33.45	34.00	36.09	36.78	37.64	35.59	33.5-38

Jika dilihat dari tabel di atas, terlihat bahwa setiap penurunan pengaturan T_a akan menaikkan konsumsi energi. Rentang kenaikan konsumsi energi tiap penambahan 10% WWR pada penurunan 25°C menjadi 20°C T_a adalah 18 kWh/m² – 20 kWh/m². Kemudian terjadi kenaikan sekitar 24 kWh/m² – 27.5 kWh/m² setiap menaikkan 10% WWR ketika T_a diturunkan menjadi 18°C dari 25°C. Setelah itu terjadi kenaikan konsumsi energi kurang lebih 33.5 kWh/m² – 38 kWh/m² pada penurunan T_a dari 25°C menjadi 15°C pada setiap kenaikan 10% WWR.

KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa pengaturan *Air Temperature* yang selama ini diterapkan pada pengaturan sistem penghawaan bangunan tidaklah tepat karena suhu yang dirasakan penghuni bangunan tidak mencapai nilai standar yang ditetapkan SNI 03-6572-2001 sebesar 25°C. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa yang seharusnya dilakukan yaitu dengan menurunkan pengaturan *Air Temperature* hingga mencapai suhu yang sesuai standar sebesar 25°C. Simulasi yang mengubah pengaturan *Air Temperature* telah dilakukan yaitu dengan menurunkan variabel pengaturan *Air Temperature* menjadi 20°C, 18°C dan 15°C.

Bila mengacu pada pengaturan *Air Temperature* yang paling efektif pada titik 18°C, maka karakteristik elemen selubung bangunan setiap orientasi yang dinilai paling efektif yaitu

	WWR
Barat Laut	Tidak Ada
Timur Laut	Tidak Ada
Utara	30%
Barat Daya	40%
Tenggara	40%
Barat	50%
Timur	50%
Selatan	60%

Perolehan hasil rentang penurunan pada variasi WWR pada rentang 0.1°C-0.6°C (tiap penurunan 10% WWR). Semakin rendah pengaturan *Air Temperature* maka akan semakin tinggi pula konsumsi energy dari bangunan tersebut. Jika dilakukan perbandingan antara penurunan *Air Temperature* dengan kenaikan konsumsi energy dapat dilihat bahwa setiap pengaturan *Air Temperature* diturunkan sebesar 1°C. Pada variasi WWR, kenaikan intensitas konsumsi energi setiap *Air Temperature* diturunkan 1°C sebesar 3.68 kWh/m².

DAFTAR PUSTAKA

- E.H. Borgstein, R. Lamberts, Developing energy consumption benchmarks for buildings: bank branches in Brazil, *Build*, 82 (0) (2014) 82-91.
- GREENSHIP, Technical guide green building assessment tools for new buildings 1.2. GBC Indonesia, 2013.(in Indonesia).
- Indonesian National Standard SNI 03-6169-2000, Procedures Energy Audits in Buildings, National Standardization Agency, Jakarta, Indonesia, 2000 (in Indonesia).
- Indonesian National Standard SNI 03-6197-2000, Energy Conservation in Buildings Lighting Systems, National Standardization Agency, Jakarta, Indonesia.2000. (in Indonesia).
- Indonesian National Standard SNI 03-6572-2001, Procedures of Designing Ventilation System and Air Conditioning in Buildings, National Standardization Agency, Jakarta, Indonesia, 2001 (in Indonesia).
- Indonesian National Standard SNI 03-6389-2011, Procedures Energy Conservation of Building Envelope on Buildings, National Standardization Agency, Jakarta, Indonesia, 2011 (in Indonesia).
- Ministry of National Education, Guidelines for the implementation of energy conservation and control in the Ministry of National Education, Jakarta,Indonesia 2004, (in Indonesia).

Sustainability in Architecture

ASHRAE Handbook: Fundamentals, American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 1993.

Jain, Vaibhav. *Effect of Operative Temperature Based Thermostat Control As Compared to Air temperature Based Control On Energi Consumption in Highly Glazed Building*. Sidney : 12th Conference of International Building Performance Simulation Association. 2011

Christensen, Jørgen E. (2008). *A Method for more specific Simulation of Operative Temperature in Thermal Analysis Programmes*. Denmark : Technical University of Denmark. 20