

ANALISIS *WINDOWS TO WALL RATIO* TERHADAP KENYAMANAN TERMAL DAN PENCAHAYAAN PADA RUANG KERJA

Totok Ruki Biyanto

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
Email: trb@ep.its.ac.id

ABSTRAK

Green Building adalah bangunan hemat energi yang dibangun dengan mengoptimalkan sumber daya alam, sehingga pemakaian energi dapat diminimalkan. *Green Building* atau bangunan ramah lingkungan mempunyai kontribusi menahan pemanasan global dengan mengatur iklim yang ada di sekitar kita. Dengan penempatan arah bangunan yang sesuai, maka sistem pencahayaan yang mengintegrasikan cahaya alami dapat menekan konsumsi energi pada sektor pencahayaan buatan atau lampu, pengkondisian udara, dan energi total pada ruang kerja. Jadi secara kumulatif penurunan energi dari sektor tersebut dapat mengefisienkan Intensitas Konsumsi Energi. Pengaturan rasio jendela yang semakin besar dan transmisi visibel semakin tinggi berdampak pada tingkat konsumsi energi. Meskipun pencahayaan semakin baik namun sebaliknya konsumsi pengkondisian udara semakin besar. Berdasarkan iklim di Indonesia yang tropis, sebaiknya ruang kerja tidak memerlukan jendela. Tetapi menurut standart SNI dengan memperhatikan estetika ruang, maka nilai OTTV untuk ruang yang digunakan yaitu kurang dari 45 dan Daylight di atas 30%. Pada penelitian ini diambil ketinggian kaca yang ideal yaitu berada pada ketinggian 0,6 meter – 0,8 meter. Diperoleh nilai WWR (*Window to Wall Ratio*) berada pada range 20 – 27 dengan *daylight* 30,12% - 37,98% dan OTTV 35,06 Watt/m² – 43,81 Watt/m². Dari hasil simulasi, maka didapatkan nilai rata-rata untuk *daylight* yaitu 34,05% dan OTTV yaitu 39,435 Watt/m².

Kata kunci : *Green Building*, Kenyaman Termal, Pencahayaan, *Window to Wall Ratio*

PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan pada sektor industri akhir-akhir ini semakin meningkat. Hal ini dikarenakan adanya kebutuhan dan jumlah manusia yang mengalami peningkatan. Di lain sisi, dengan adanya perkembangan pembangunan, sering kurang memperhatikan kenyamanan dan dampak negatif terhadap lingkungan, kesehatan, kesejahteraan dan kualitas hidup manusia itu sendiri atau dari sisi bangunan kelayakan bagi penghuni atau pemakainya sering diabaikan (GBCI, 2013).

Dengan adanya konsep *green building* maka diharapkan dalam proses pembangunan diterapkan kaedah ramah lingkungan, hemat energi, dan hemat sumber daya alam lainnya baik secara mikro maupun makro. Konsep *green building* atau bangunan ramah lingkungan didorong

menjadi kecenderungan dunia untuk menahan laju pemanasan global bagi pengembangan saat ini. *Green building* adalah sesuatu bangunan yang diakui secara hukum sebagai produk yang bisa didaur ulang atau minimum dampak negatifnya kepada atau terhadap lingkungan (Rodney, 2005), selain nyaman bagi penghuninya.

Khususnya dalam bekerja, manusia memerlukan suatu kondisi yang nyaman, terutama mereka yang bekerja dalam ruangan. Sebab 80% kehidupan manusia modern adalah di dalam ruangan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu kondisi ruangan yang nyaman. Hal-hal yang dapat membuat kita nyaman ditunjang oleh beberapa faktor seperti luas ruangan, suhu ruang, pencahayaan yang cukup dan juga *humidity* (Rh) (ASHRAE,1993).

Akan tetapi untuk tercapai kenyamanan tersebut maka memerlukan biaya. Kenyamanan suhu dan *humidity* (Rh) dikendalikan oleh HVAC yang membutuhkan konsumsi pendinginan yang besar pada gedung (Priyanka. 2012).

Untuk pencahayaan bisa menggunakan pencahayaan alami dan pencahayaan buatan. Pencahayaan alami dengan menggunakan sinar matahari, sedangkan pencahayaan buatan menggunakan lampu. Pencahayaan alami yang diperoleh dari cahaya matahari, selain memberikan cahaya juga membawa panas yang akan membebani HVAC (Sandanasamy, 2013).

Pada makalah ini akan dipaparkan tentang luasan jendela dibandingkan dengan luasan dinding WWR (*Window to Wall Ratio*) dan orientasi bangunan terhadap penerangan dan konsumsi listrik karena lampu, HVAC dan penghuni, dengan menggunakan jenis kaca dan lampu terbaik yang ada di pasaran saat ini.

TINJAUAN PUSTAKA

Selubung Bangunan

Beban pendinginan dari suatu bangunan gedung yang dikondisikan terdiri dari beban internal dan beban external. Beban internal yaitu beban yang ditimbulkan oleh lampu, penghuni, dan peralatan lain yang menimbulkan panas. Sedangkan beban external yaitu panas yang masuk dalam bangunan akibat radiasi matahari dan konduksi melalui selubung bangunan (BSN, 2000):

Untuk mengurangi beban external Badan Standardisasi Nasional Indonesia (SNI) menentukan kriteria disain selubung bangunan yang dinyatakan dalam Harga Alih Termal Menyeluruh (*Overall Thermal Transfer Value*, OTTV) yaitu OTTV 45 Watt/m² (BSN, 2000).

Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) merupakan prosedur standar mengenai konservasi energi yang menghitung panas yang masuk suatu selubung bangunan. Perhitungan OTTV menurut SNI 03-6389-2011 tentang konservasi energi selubung bangunan pada

bangunan gedung dirumuskan sebagai berikut :

$$OTTV = \alpha[U_{in} \times (1 - WWR)] \times TD_{ek} + U_f \times WWR \times \Delta T + SC \times WW \times SF \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- OTTV : harga perpindahan termal menyeluruh dinding luar pada orientasi tertentu (W/m²)
- r : absorptansi radiasi matahari
- U_w : transmitansi termal dinding tak tembus cahaya
- WWR : perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding pada orientasi yang sama
- TD_{ek} : beda temperatur ekuivalen (K)
- SF : faktor radiasi matahari (W/m²)
- SC : koefisien peneduh dari sistem fenestrasi
- U_f : transmitansi termal fenestrasi (W/m².K)
- UT : beda temperatur perancangan

Roof Thermal Transfer Value (RTTV)

Nilai perpindahan termal dari penutup atap bangunan gedung dapat dirumuskan melalui persamaan :

$$RTTV = \frac{\alpha(A_r \times U_r \times TD_{ek}) + (A_s \times U_s \times \Delta T) + (A_o \times SC \times SF)}{A_o} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

- RTTV : nilai perpindahan termal menyeluruh untuk atap (W/m²).
- r : absorptansi radiasi matahari
- A_r : luas atap yang tak tembus cahaya (m²).
- A_s : luas skylight (m²).
- A_o : luas total atap = A_r + A_s (m²)
- U_r : transmitansi termal atap tak tembus cahaya (W/m².K).
- TD_{ek} : beda temperatur ekuivalent (K).
- SC : koefisien peneduh dari sistem fenestrasi.
- SF : faktor radiasi matahari (W/m²).
- U_s : transmitansi termal fenestrasi (skylight) (W/m².K).
- T : beda temperatur antara kondisi perencanaan luar dan bagian dalam (diambil 5 K).

Perhitungan penggunaan energi secara umum diawali dengan perhitungan beban panas yang terdiri dari beban eksternal, beban pencahayaan buatan, beban penghuni, beban peralatan, dan beban fresh air.

Beban Eksternal

$$Q_{external} = (A_{bid} \times OTTV) + (A_{roof} \times U_{roof} \times \Delta T) \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

- $Q_{external}$: beban eksternal (kW)
- A_{bid} : luas bidang total (m²)
- $OTTV$: nilai selubung bangunan (W/m²)
- A_{roof} : luas atap (m²)
- U_{roof} : transmitansi termal pada atap (W/m².K)
- T : perbedaan suhu antara lingkungan dan ruangan (°C)

Beban Pencahayaan Buatan

$$Q_{light} = \frac{[(LPD \times t_{op} \times A_{non\ light}) + (LPD \times t_{non\ light} \times A_{light})]}{t_{op}} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

- Q_{light} : beban pencahayaan buatan (kW)
- LPD : kerapatan daya pencahayaan (W/m²)
- t_{op} : waktu operasional gedung (jam/tahun)
- $A_{non\ light}$: luasan daerah tanpa pencahayaan alami (m²)
- $T_{non\ light}$: waktu operasional gedung saat memakai lampu (jam/tahun)
- A_{light} : luasan daerah terkena pencahayaan alami (m²)

Beban Penghuni

$$Q_{occupant} = (Person \times Q_{s\ occupant}) + (Person \times Q_{l\ occupant}) \dots\dots\dots(5)$$

dimana :

- $Q_{occupant}$: beban penghuni (kW)
- $Person$: jumlah penghuni
- $Q_{s\ occupant}$: panas sensibel orang sesuai standar SNI sebesar 59 (W/orang)

$Q_{l\ occupant}$: panas latent orang sesuai standar SNI sebesar 74 (W/orang)

Beban Peralatan

$$Q_{plug} = PPD \times NLA \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

- Q_{plug} : beban peralatan (kW)
- PPD : kerapatan daya peralatan (W/m²)
- NLA : adalah luasan daerah operasional gedung (m²)

Beban Fresh Air dari Luar

$$Q_{air} = Q_{s\ air} + Q_{l\ air} \dots\dots\dots(7)$$

dimana :

- Q_{air} : beban fresh air dari luar (kW)
- $Q_{s\ air}$: beban fresh air sensibel dari luar (kW)
- $Q_{l\ air}$: beban fresh air latent dari luar (kW)

atau,

$$Q_{air} = (a \times Fresh\ Air \times \Delta T) + (b \times Fresh\ Air \times \Delta R) \dots\dots\dots(8)$$

dimana :

- a : adalah konstanta dengan nilai 1.218
- b : adalah konstanta dengan nilai 2.998
- $Fresh\ Air$: adalah kebutuhan udara luar untuk penghuni (L/s)
- T : adalah perbedaan suhu antara lingkungan dan ruangan (°C)
- R : adalah perbedaan rasio kelembaban (kg uap air / kg udara)

Perhitungan fresh air ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$Fresh\ Air = [R_p + (R_a \times A_{person})] \times Total\ Occupant \dots\dots\dots(9)$$

dimana :

- R_p : laju aliran udara luar per orang (L/s.orang)
- R_a : luasan laju aliran udara luar (L/s.m²)

A_{person} : adalah kerapatan luasan per orang ($m^2/orang$)

$Total Occupant$: jumlah penghuni

Beban Pendinginan (*Cooling Load*)

Beban Pendinginan adalah jumlah total energi panas yang harus dihilangkan dalam satuan waktu dari ruangan yang didinginkan. Beban ini diperlukan untuk mengatasi beban panas external dan internal (Gulati, 2012).

Dari semua beban panas tersebut, maka didapatkan persamaan untuk *cooling load* total sebagai berikut :

$$Q_{tot} = Q_{external} + Q_{occupant} + Q_{air} + Q_{light} + Q_{plug} \dots\dots\dots(10)$$

Sistem pendingin pada gedung terdiri atas *chiller*, AHU, *chilled water pump*, *condenser water pump*, dan *cooling tower* (Priyanka. 2012).

$$fan\ AHU = \frac{a \times AFR \times P_s}{Fan\ eff \times Drive\ eff \times Motor\ eff} \dots\dots\dots(11)$$

dimana :
 $Fan\ AHU$: daya AHU (kW)
 : konstanta dengan nilai 0.000161

AFR : laju aliran udara ($m^3/menit$)

P_s : tekanan statis total sesuai standar GBCI sebesar 50 (mm aq)

$Fan\ eff$: efisiensi fan AHU

$Drive\ eff$: efisiensi drive AHU

$Motor\ eff$: efisiensi motor AHU

Setelah perhitungan daya AHU, dapat dilakukan perhitungan daya CHWP dengan persamaan sebagai berikut :

$$CHWI = \frac{CHWFF \times Pump\ Head}{a \times Pump\ Eff} \dots\dots (12)$$

dimana :
 $CHWP$: daya *chilled water pump* (kW)
 $CHWFR$: laju aliran air dingin (GPM)
 $Pump\ Head$: tinggi tekanan pompa maksimal (ft)
 : konstanta dengan nilai 3960
 $Pump\ eff$: efisiensi pompa

Perhitungan CHWFR ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$CHWFI = \frac{a \times Q_{tot}}{\Delta T\ Chilled\ Water} \dots\dots\dots(13)$$

dimana :
 : konstanta dengan nilai 24
 T : perbedaan suhu antara air yang didinginkan *chiller* dengan air dari AHU ($^{\circ}F$)

Setelah perhitungan daya CHWP, dapat dilakukan perhitungan daya CWP dengan persamaan sebagai berikut.

$$CWI = \frac{CWFR \times Pump\ Head}{a \times Pump\ Eff} \dots\dots\dots(14)$$

dimana :
 CWP : daya *condenser water pump* (kW)
 $CWFR$: laju aliran air kondenser (GPM)
 $Pump\ Head$: tinggi tekanan pompa maksimal (ft)
 : konstanta dengan nilai 3960
 $Pump\ eff$: adalah efisiensi pompa

Perhitungan CHWFR ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$CHWFI = \frac{a \times Q_{tot}}{\Delta T\ Condenser\ Water} \dots\dots\dots(15)$$

dimana :
 : konstanta dengan nilai 30
 T : perbedaan suhu antara air yang didinginkan *chiller* dengan air dari *cooling tower* ($^{\circ}F$)

Setelah itu, dilakukan perhitungan konsumsi energi yang terdiri atas :

Konsumsi Energi Pada Sistem Pendingin

$$Konsumsi\ Chiller = Q_{tot} \times t_{op} \times (NPLV + CHWI + CWI + CT) \dots\dots\dots(16)$$

NPLV adalah karakteristik sistem pendingin ketika beroperasi pada berbagai kapasitas pendinginan. Besarnya nilai NPLV pada baseline gedung menggunakan standar GBCI.

Konsumsi Energi Pada Pencahayaan

$$\begin{aligned}
 \text{Konsumsi light} = & \\
 & [(LPD \times t_{op} \times A_{non\ light}) + \\
 & (LPD \times t_{non\ light} \times A_{light}) + \\
 & (LPD_{non\ op} \times NLA \times t_{non\ op})] / 1000
 \end{aligned}$$

dimana :

$LPD_{non\ op}$: kerapatan daya pencahayaan saat bukan waktu operasional (W/m^2)

$T_{non\ op}$: waktu bukan operasional gedung (jam/tahun)

Konsumsi Energi Pada Peralatan

$$\begin{aligned}
 \text{Konsumsi plug} = & \\
 & \frac{[(PPD \times NLA \times t_{op}) + (PPD_{non\ op} \times NLA \times t_{non\ op})]}{1000} \\
 & \dots\dots\dots(18)
 \end{aligned}$$

dimana:

$PPD_{non\ op}$: kerapatan daya peralatan saat bukan waktu operasional (W/m^2)

Konsumsi Energi Pada Distribusi Udara

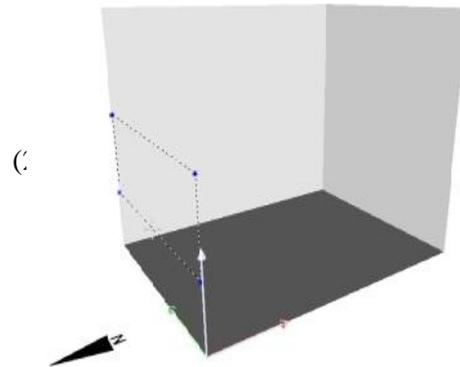
$$\begin{aligned}
 \text{Konsumsi AHU} = fan\ AHU \times t_{op} \\
 \dots\dots\dots(19)
 \end{aligned}$$

METODOLOGI

Ruang yang Dikaji

Penelitian ini menggunakan perhitungan kriteria *Energy Efficiency dan Conservation (EEC)* pada sebuah ruang kerja dengan menggunakan standart *Green Building Council Indonesia (GBCI)*. Dimensi ruang yang diterapkan pada penelitian ini yaitu ukuran $12\ m^2$ seperti terlihat pada Gambar 1. Selubung ruang yaitu terdiri dari dinding, selubung atap dan juga kaca. Selubung dinding terbuat dari material beton ringan dengan ketebalan $0,15\ m$, dengan densitas $960\ m^2$. Lebar kaca yang digunakan adalah $2,9$ meter dari lebar dinding yaitu 3 meter.

Dimensi ruang dapat dilihat seperti Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Dimensi ruang yang digunakan pada penelitian

Faktor yang mempengaruhi konsumsi energi disebabkan oleh beban panas yang dihasilkan selubung bangunan, yang terdiri dari selubung bangunan yang terdiri dari jendela dan selubung atap. Dengan adanya jendela ini yang nantinya akan mempengaruhi perubahan dari WWR pada sistem pencahayaan.

Penentuan arah/orientasi ruang berpengaruh terhadap pencahayaan. Pada Gambar 1 adalah contoh simulasi ruang yang digunakan pada penelitian dengan menghadap arah utara. Jadi pada penelitian ini juga mensimulasikan arah bangunan yang baik untuk mendapatkan pencahayaan alami yang berasal dari matahari.

Penggunaan kaca pada jendela besar pengaruhnya pada sistem pencahayaan, maka dari itu diperlukan jenis kaca yang dapat mengurangi beban panas pada selubung bangunan. Pada selubung atap juga dipengaruhi oleh jenis atap yang digunakan. Tetapi pada penelitian ini selubung atap menggunakan satu jenis atap yang konstan dan juga satu jenis kaca *Planibel G 3.2 mm*.

Sedangkan untuk kaca yang berubah adalah ketinggian kaca, yang diukur mulai dari $75\ cm$ di atas lantai dan bertambah $5\ cm$ sampai dengan ketinggian $1,75\ m$. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pada ketinggian berapa cahaya maksimal yang dapat masuk pada ruangan tersebut dengan baik. Ketinggian dimulai dari ketinggian $75\ cm$ dikarenakan standar manusia beraktivitas berada di atas meja sehingga pengukuran ketinggian dilakukan dengan standar tersebut.

Untuk standar-standar dan juga asumsi yang digunakan pada penelitian ini sebagian besar menggunakan standar yang diterapkan pada GBCI, SNI, dan ASHRAE.

Diagram Alir Perhitungan Intensitas Konsumsi Energi

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa *variabel* yang ditentukan berupa variasi ketinggian kaca. Kemudian dilanjutkan dengan simulasi *daylight* menggunakan *software* DIALux yang sebelumnya telah dihitung nilai WWRnya dengan cara diperoleh dari perbandingan luas jendela terhadap dinding. Setelah mengetahui nilai *daylight* dan WWR tersebut maka dilakukan perhitungan nilai OTTV dengan variasi tinggi kaca. Perhitungan OTTV ini berdasarkan dari perhitungan WWR, beban penghuni, beban peralatan, dan kondisi udara sekitar. Kemudian setelah perhitungan OTTV maka dapat dihitung beban *eksternal* berdasarkan nilai dari OTTV, RTTV dan luas lantai.

Selanjutnya dilakukan perhitungan *cooling load* yang terdiri dari jumlah perhitungan beban panas yang dihasilkan pada ruang tersebut seperti beban selubung bangunan atau beban *eksternal*, beban panas dari penggunaan lampu, beban penghuni, dan beban peralatan.

Setelah dilakukan perhitungan beban *cooling load*, maka proses selanjutnya adalah penghitungan beban sistem pendingin yang didapatkan dari perhitungan daya AHU (*Air Handling Unit*) sebagai media pertukaran panas air dingin dan udara. *Chilled Water Pump* atau CHWP merupakan pompa yang berfungsi untuk sirkulasi air dingin antara AHU dan *chiller*. Sedangkan *Condenser Water Pump* atau CWP merupakan pompa yang berfungsi dalam mengalirkan fluida antara *cooling tower* dan *chiller*. Dari perhitungan beban sistem pendingin tersebut, maka dapat diketahui berapa konsumsi energi pada sistem pendingin

Dari semua hasil perhitungan yang dilakukan nantinya akan dipakai untuk mengetahui konsumsi energi pada ruang secara keseluruhan yang mengacu pada IKE (Intensitas Konsumsi Energi) serta biaya yang harus dikeluarkan.

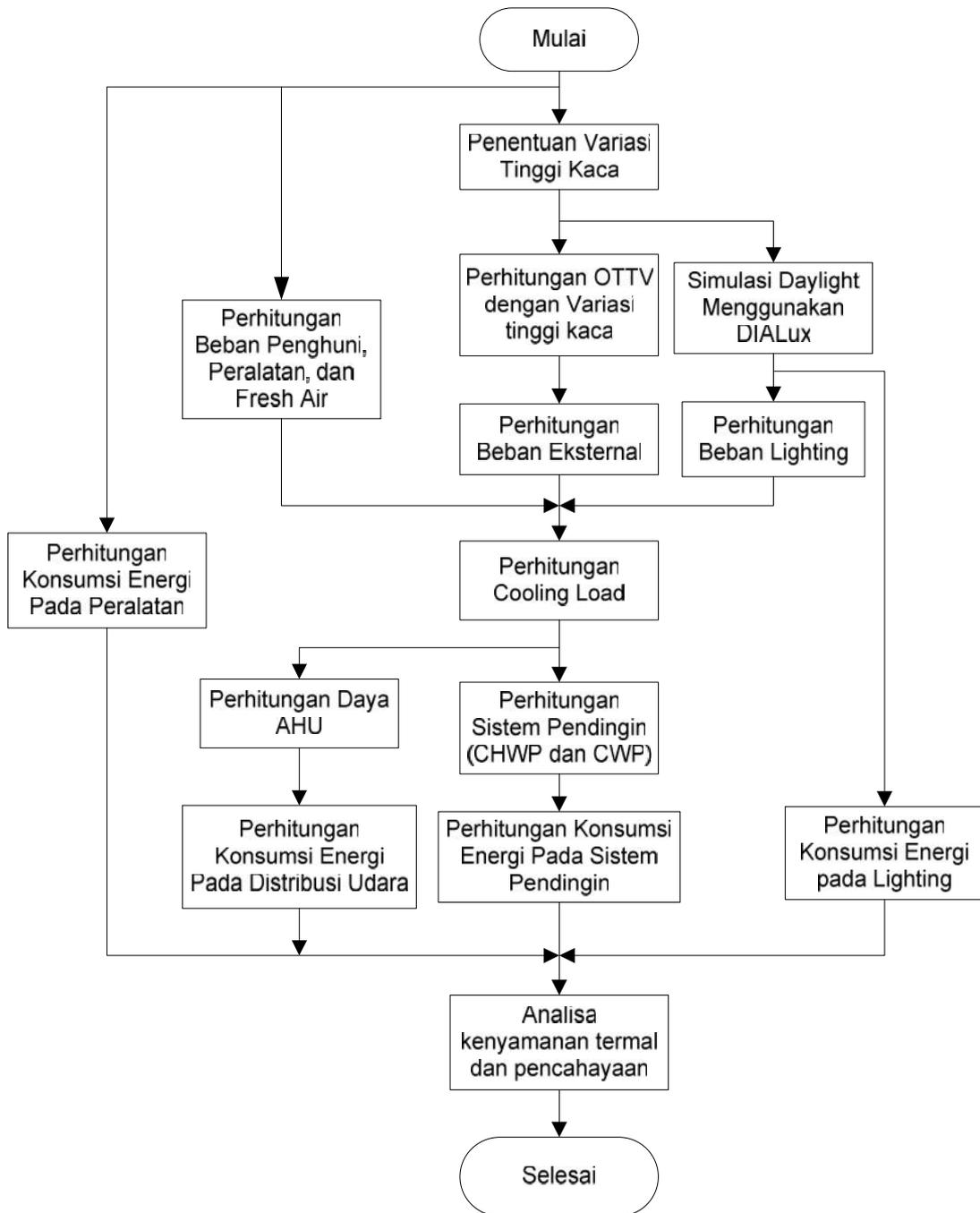
Dikarenakan object yang simulasikan berupa ruangan kerja, maka simulasi pencahayaan hanya menggunakan design satu ruangan saja. Dengan asumsi penggunaan kaca, lampu, dan AC seperti yang telah disebutkan di atas. Tetapi untuk mendapatkan sistem pencahayaan yang bagus sesuai dengan yang diharapkan, maka ruang tersebut dikondisikan menghadap arah mata angin yaitu Barat, Timur, Selatan, dan Utara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan WWR yang semakin besar, maka hasil OTTV semakin besar pula. Dengan menggunakan Persamaan 2.1 dilakukan perhitungan OTTV untuk arah utara, selatan, timur dan barat. Hasil perhitungan dapat dilihat pada pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Dari Tabel 1 dan Gambar 3 diperoleh bahwa besarnya perpindahan panas yang dihasilkan oleh selubung dinding luar sangat dipengaruhi oleh besarnya WWR. Dimana panas yang dihasilkan oleh selubung dinding semakin besar karena nilai WWR juga semakin besar, dengan urutan orientasi bangunan barat, timur, selatan dan utara, yan berturut-turut semakin kecil.

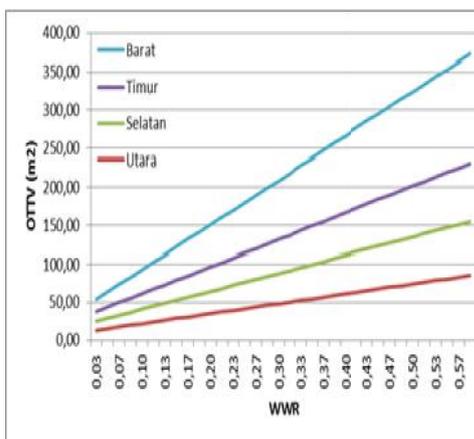
Sehingga untuk *Cooling Load* sesuai dengan Persamaan 10 yang terdiri dari *Eksternal Load*, *Lighting Load*, *Occupant* (beban orang), dan beban pendingin udara, diperoleh bahwa semakin besar WWR maka *cooling load* yang dihasilkan semakin besar.



Gambar 2 Diagram alir perhitungan IKE

Tabel 1 Hasil simulasi WWR dengan OTTV

WWR	OTTV (Watt/m ²)			
	Utara	Selatan	Timur	Barat
0,03	13,18	12,24	12,67	16,38
0,05	15,37	13,96	14,60	20,17
0,07	17,55	15,68	16,53	23,96
0,08	19,74	17,40	18,47	27,75
0,10	21,93	19,13	20,40	31,54
0,12	24,12	20,85	22,33	35,32
0,13	26,31	22,57	24,27	39,11
0,15	28,50	24,29	26,30	42,90
0,17	30,68	26,01	28,13	46,69
0,18	32,87	27,73	30,07	50,48
0,20	35,06	29,45	32,00	54,27
0,22	37,25	31,17	33,93	58,06
0,23	39,44	32,89	35,87	61,85
0,25	41,63	34,61	37,80	65,64
0,27	43,81	36,33	39,73	69,43
0,28	46,00	38,05	41,67	73,22
0,30	48,19	39,78	43,60	77,01
0,32	50,38	41,50	45,53	80,79
0,33	52,57	43,22	47,47	84,58
0,35	54,76	44,94	49,40	88,37
0,37	56,94	46,66	51,33	92,16
0,38	59,13	48,38	53,27	95,95
0,40	61,32	50,10	55,20	99,74
0,42	63,51	51,82	57,13	103,53
0,43	65,70	53,54	59,07	107,32
0,45	67,89	55,26	61,00	111,11
0,47	70,07	56,98	62,93	114,90
0,48	72,26	58,70	64,87	118,69
0,50	74,45	60,43	66,80	122,48
0,52	76,64	62,15	68,73	126,26
0,53	78,83	63,87	70,67	130,05
0,55	81,02	65,59	72,60	133,84
0,57	83,20	67,31	74,53	137,63
0,58	85,39	69,03	76,47	141,42



Gambar 3. Simulasi WWR dengan OTTV

Dari Tabel 2 didapatkan hasil yaitu jumlah energi panas yang harus dihilangkan untuk mengatasi beban panas eksternal dan internal. Dengan WWR yang semakin besar, maka beban total panas yang harus dihilangkan juga semakin besar.

Dari beban panas *eksternal* dan *internal* sesuai dengan Persamaan 3 sampai 9 diperoleh *cooling load* seperti pada Tabel 2. Dengan nilai *cooling load* yang besar maka akan menjadi beban sistem HVAC semakin besar pula.

Total daya *Chiller Plant* terhadap WWR yang berasal dari HVAC, AHU, konsumsi lampu untuk penerangan buatan, dan beban manusia seperti pada Persamaan 16 sampai dengan 19 terlihat pada Gambar 5.

Sehingga IKE (Intensitas Konsumsi Energi) ditunjukkan pada dan Gambar 6 yang mengacu pada standar IKE ASEAN-USAID menunjukkan bahwa simulasi ruang yang digunakan pada penelitian masih menunjukkan nilai di bawah standar yang ditetapkan. Nilai maksimum IKE untuk perkantoran per tahun adalah 240 kWh/m² berdasarkan SNI tahun 1992.

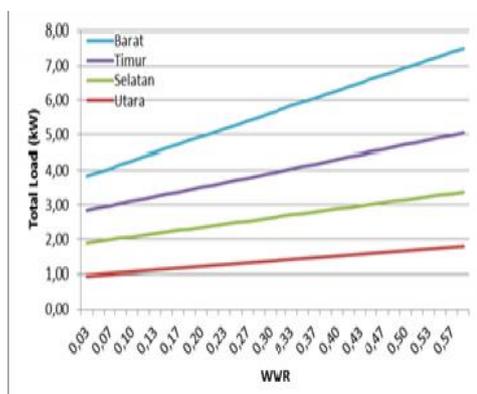
Dari Gambar 6 diketahui bahwa dengan WWR yang semakin besar, maka tingkat konsumsi energi yang digunakan juga semakin besar. Tetapi dari hasil penelitian yang dilakukan, konsumsi energi pada sebuah ruang kerja dengan luasan 12 m² yang dihasilkan masih di bawah standar SNI IKE tahun 1992.

Dari hasil simulasi yang dilakukan, maka didapatkan hasil yaitu WWR (*Window to Wall Ratio*) berpengaruh terhadap penggunaan beban lampu. Sehingga apabila WWR semakin besar, maka penggunaan beban lampu akan semakin kecil.

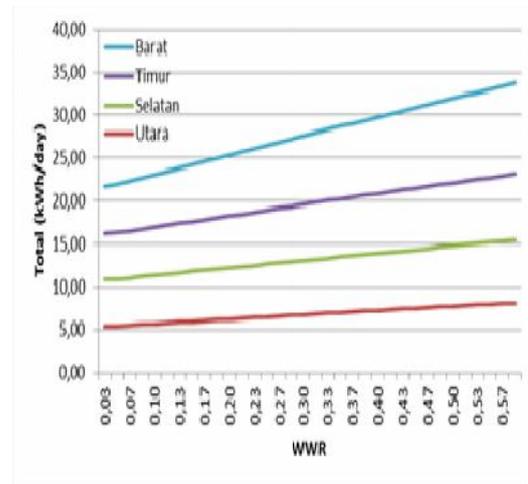
Orientasi letak jendela mempunyai harga besar bila menghadap Barat, Timur, Selatan, dan Utara secara berturut-turut. Sehingga penentuan parameter awal yang ditentukan adalah arah jendela. Semakin besar WWR, maka luasan yang dapat disinari oleh cahaya alami yaitu matahari semakin besar. Hal ini akan mengurangi beban listrik atau cahaya buatan. Namun semakin besar WWR akan memberikan beban panas yang besar juga pada sistem HVAC.

Tabel 2. Hasil Simulasi WWR dengan Cooling Load

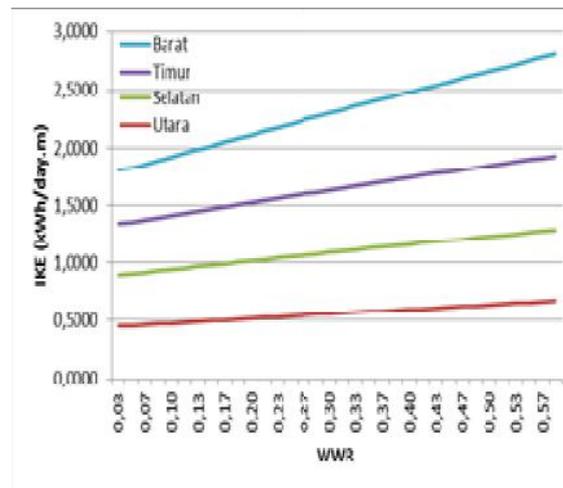
WWR	Cooling Load (kW)			
	Utara	Selatan	Timur	Barat
0,03	0,95	0,94	0,95	0,99
0,05	0,98	0,96	0,97	1,03
0,07	1,00	0,98	0,99	1,08
0,08	1,03	1,00	1,01	1,12
0,10	1,05	1,02	1,03	1,17
0,12	1,08	1,04	1,06	1,21
0,13	1,10	1,06	1,08	1,26
0,15	1,13	1,08	1,10	1,30
0,17	1,15	1,10	1,12	1,35
0,18	1,18	1,12	1,15	1,39
0,20	1,20	1,14	1,17	1,43
0,22	1,23	1,16	1,19	1,48
0,23	1,25	1,18	1,21	1,52
0,25	1,28	1,20	1,23	1,57
0,27	1,31	1,22	1,26	1,61
0,28	1,33	1,24	1,28	1,66
0,30	1,36	1,25	1,30	1,70
0,32	1,38	1,27	1,32	1,75
0,33	1,41	1,29	1,35	1,79
0,35	1,43	1,31	1,37	1,84
0,37	1,46	1,33	1,39	1,88
0,38	1,48	1,35	1,41	1,92
0,40	1,51	1,37	1,43	1,97
0,42	1,53	1,39	1,46	2,01
0,43	1,56	1,41	1,48	2,06
0,45	1,58	1,43	1,50	2,10
0,47	1,61	1,45	1,52	2,15
0,48	1,63	1,47	1,54	2,19
0,50	1,66	1,49	1,57	2,23
0,52	1,68	1,51	1,59	2,28
0,53	1,71	1,53	1,61	2,32
0,55	1,73	1,55	1,63	2,37
0,57	1,76	1,57	1,65	2,41
0,58	1,78	1,59	1,68	2,46



Gambar 4. Simulasi WWR dengan cooling load



Gambar 5. Simulasi WWR dengan total penggunaan daya



Gambar 6. Simulasi WWR dengan IKE

Dengan WWR yang besar akan berdampak pada beban panas yang besar pula. Sehingga akan memperberat kerja sistem pendinginan yang ada pada ruang. Pemakaian listrik untuk HVAC lebih besar dibandingkan untuk konsumsi penerangan, sehingga bila tidak memperhatikan nilai estetika ruang maka sebaiknya pada ruang kerja tidak memerlukan adanya jendela.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan yaitu :

1. Pada ruang kerja arah bangunan mempengaruhi sistem pencahayaan pada ruang. Dengan penempatan arah bangunan yang sesuai, maka sistem pencahayaan yang mengintegrasikan cahaya alami dapat

- menekan konsumsi energi pada pencahayaan buatan atau lampu, pengkondisian udara, dan energi total pada ruang kerja. Jadi secara kumulatif dapat mengefisienkan Intensitas Konsumsi Energi.
2. Pengaturan rasio jendela yang semakin besar dan transmisi visibel semakin tinggi berdampak pada tingkat konsumsi energi. Meskipun pencahayaan semakin baik namun sebaliknya konsumsi pengkondisian udara semakin besar.
 3. Berdasarkan iklim di Indonesia yang tropis, sebaiknya ruang kerja tidak memerlukan jendela. Tetapi menurut standart SNI dengan memperhatikan estetika ruang, maka nilai OTTV untuk ruang yang digunakan yaitu kurang dari 45 dan Daylight di atas 30%. Jadi pada penelitian ini diambil ketinggian kaca yang ideal yaitu berada pada ketinggian 0,6 meter – 0,8 meter. Yang berarti nilai WWR berada pada range 20 – 27 dengan *daylight* 30,12% - 37,98% dan OTTV 35,06 Watt/m² – 43,81 Watt/m². Dari hasil simulasi, maka didapatkan nilai rata-rata untuk *daylight* yaitu 34,05% dan OTTV yaitu 39,435 Watt/m².

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE Handbook: *Fundamentals, American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, Inc. Atlanta, 1993.
- Badan Standardisasi Nasional. Konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung. SNI 03-6389-2000, Jakarta, Indonesia. 2000.
- Divisi Rating dan Teknologi, 2013. *GREENSHIP untuk BANGUNAN BARU Versi 1.2*. Jakarta: Green Building Council Indonesia.
- Gulati, N., 2012. *Cost Effectiveness in HVAC by Building Envelope Optimization*. Nottingham: University of Nottingham.
- Mc Donald, Rodney C. 2005. *Highlighting Seven Keys To Cost Effective Green Building*. Canada : Royal Roads University.
- Rathi, Priyanka. 2012. *Optimization of energy efficient windows in office buildings For different climate zones of the United States*.
- Sandanasamy, D., Govindarajane, S., Sundararajan, T., 2013. *Natural Lighting In Green Buildings-An Overview and A Case Study*. *International Journal of Engineering Science and Technology* 5, 1:119-122.