

## OPTIMALISASI BUKAAN JENDELA UNTUK PENCAHAYAAN ALAMI DAN KONSUMSI ENERGI BANGUNAN

### OPTIMIZATION OF THE WINDOW OPENING FOR DAYLIGHTING AND CONSUMPTION IN BUILDINGS

Riska Dwi Chaerani<sup>1</sup>, Suprayogi<sup>2</sup>, Ery Djunaedy<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

[riskadwic@gmail.com](mailto:riskadwic@gmail.com)<sup>1</sup>, [spivogi@yahoo.co.id](mailto:spivogi@yahoo.co.id)<sup>2</sup>, [erydjunaedy@gmail.com](mailto:erydjunaedy@gmail.com)<sup>3</sup>

---

#### Abstrak

Kondisi Indonesia yang tepat berada pada garis khatulistiwa menjadikan Indonesia mempunyai iklim tropis, sehingga sering kita merasakan suhu yang panas walaupun berada di dalam ruangan. Selain itu, konsumsi energi bangunan akan mengalami peningkatan akibat dari tingginya penggunaan AC serta lampu. Banyaknya cahaya matahari yang masuk maka semakin baik sistem pencahayaannya, tetapi konsumsi beban pendinginan mengalami peningkatan karena suhu didalam ruangan menjadi tinggi. Namun hal tersebut dapat teratasi dengan mencari luas bukaan dimensi jendela yang tepat terhadap pencahayaan alami dengan memperhitungkan energi bangunan yang dihasilkan. Objek pada simulasi adalah bangunan tipe ruko dan bangunan tipe kecamatan, luas lantai masing-masing  $\pm 70 \text{ m}^2$  dan  $\pm 600 \text{ m}^2$ , dengan variable luas bukaan jendela 20% sampai 80%. Masing-masing bangunan akan dikombinasikan tiga jenis material kaca yang berbeda yaitu dengan nilai *U-Value*, *SHGC*, *VT* serta ditambahkan kombinasi arah orientasi bangunan yaitu utara, barat, timur dan selatan. Hasil penelitian menunjukkan, pada gedung tipe ruko penghematan energi terbaik diperoleh Kaca 1 dengan luas bukaan jendela 40% untuk orientasi Barat, 40% untuk orientasi Timur, 30% untuk orientasi Utara, dan 40% untuk orientasi Selatan. Sementara gedung tipe Kecamatan penghematan energi terbaik diperoleh Kaca 1 dengan luas bukaan jendela 70% untuk orientasi Barat, Timur dan Utara sedangkan orientasi Selatan 80%.

---

**Kata Kunci:** *WWR, Visible Transmittance, SHGC, U-Value*

---

#### Abstract

*Indonesia's conditions precise on the equator makes Indonesia has a tropical climate, although in the room sometimes we can feel hot temperatures. In addition to using air conditioning and light, increase the energy consumption of buildings. More sunlight shine the room can making a better lighting system, but the consumption of cooling loads increased because the temperature in the room becomes high. However, it can be solved by finding the right exposure of the window dimensions to natural lighting by taking into account the energy of the building produced. The simulation object are the type of shop building and house building the floor area is  $\pm 70 \text{ m}^2$  and  $\pm 600 \text{ m}^2$ , with subject variation of window opening 20% to 80%. The building will be combined with three different types of glass materials with *U-Value*, *SHGC*, *VT* and added a combination of orientation of the north, west, east and south. The result of the research shows that, the type of shop building saving energy obtained by Glass 1 with 40% window opening area for west orientation, 40% for East orientation, 30% for North orientation, and 40% for South orientation. While the best type of energy-saving District building is obtained by Glass 1 with 70% window opening area for orientation of West, East and North while orientation of South 80%.*

---

**Keywords:** *WWR, Visible Transmittance, SHGC, U-Value*

---

#### 1. Pendahuluan

Krisis energi listrik yang terjadi akan terus bertambah seiring bertambahnya populasi penduduk. Berdasarkan data dari EIA (*Energy Information Administration*), bahwa Indonesia menjadi Negara dengan peringkat 18 untuk kategori konsumsi energi di dunia terbanyak. Selain itu dalam waktu 1999 sampai 2008 Indonesia mengalami peningkatan konsumsi energi sebesar 50% [1]. Tingginya konsumsi energi Indonesia karena dipengaruhi oleh keterbatasan sumber daya fosil, minyak bumi, gas bumi dan batu bara [1]. Dalam bangunan gedung, dapat dikelompokkan sebagai penyumbang terbesar dalam konsumsi energi yaitu sistem AC, sistem pencahayaan, sistem transportasi gedung, peralatan kantor dll. Penggunaan energi umumnya meliputi 55% untuk sistem tata udara luar (*air conditioning*), 25% untuk sistem tata cahaya (*lighting*) dan 20% sisanya untuk peralatan lainnya (lift, pompa, peralatan elektronik, dan lain-lainnya) [2]. Maka berdasarkan pernyataan tersebut sistem tata cahaya dan beban pendinginan memberikan kontribusi besar dalam konsumsi energi setiap tahunnya [2].

Untuk mengurangi penggunaan listrik dapat dilakukan gedung ramah lingkungan. Dengan Gedung ramah lingkungan merupakan suatu kegiatan yang merencanakan bangunan baru ataupun lama yang dibangun dan dioperasikan dengan memperhatikan faktor-faktor keramahan lingkungan [3]. Gedung ramah lingkungan untuk kategori efisiensi energi harus dapat mengurangi penggunaan listrik. Penggunaan listrik dapat dikurangi dengan cara mengurahi penggunaan cahaya buatan maka sebagai jalan keluarnya yaitu dengan memanfaatkan pencahayaan alami. Untuk mendapatkan cahaya alami yang baik pada bangunan dapat mengoptimalkan luas bukaan jendela atau WWR (*Window to Wall Ratio*), tetapi bukaan jendela yang kurang tepat akan berpengaruh pada radiasi matahari yang masuk sehingga meningkatkan *cooling load*.

Berdasarkan hal tersebut maka, WWR perlu dikaji kembali untuk mendapatkan luas bukaan yang optimal. Pada tugas akhir ini akan meneliti hubungan WWR (*Window to Wall Ratio*) terhadap *cooling load*, energi lampu dengan cara mensimulasikan bangunan menggunakan *EnergyPlus*. Setiap bangunan yang disimulasikan mempunyai kondisi yang berbeda yaitu bangunan akan disimulasikan dengan orientasi berbeda, begitu pula dengan material kaca yang dimiliki setiap jendela. Satu kaca mempunyai tiga jenis material yang berbeda sehingga setiap energi yang dihasilkan akan berbeda yang kemudian akan disimulasikan dengan data iklim lokasi Jakarta

## 2. Metodologi penelitian

Metodologi yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini yaitu pemodelan dan simulasi bangunan. Simulasi ini memodelkan 2 objek bangunan yaitu bangunan tipe kecamatan dan bangunan tipe ruko. Bangunan kecamatan terdiri dari 3 lantai dengan luas bangunan setiap lantai  $\pm 600 \text{ m}^2$  dan pada lantai satu mempunyai 4 zone, lantai 2 mempunyai 11 zone, lantai 3 mempunyai 1 zone. Kemudian bangunan tipe ruko dimodelkan 10 bangunan ruko dengan 3 lantai yang luas bangunan setiap lantainya  $\pm 70 \text{ m}^2$ . Dimana pada lantai 1 mempunyai 1 zone, lantai 2 mempunyai 2 zone, dan lantai 3 mempunyai 3 zone. Masing-masing bangunan tersebut akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak *SkechUp*, *OpenStudio*, *EnergyPlus*. Selanjutnya semua tipe bangunan akan dikombinasikan berdasarkan arah orientasi (utara, barat, selatan dan timur), material kaca (Kaca 1 dengan nilai *U-Value*  $0,773 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; *SHGC*= $0,466$  ; *VT*= $0,624$ , Kaca 2 mempunyai nilai *U-Value*  $3,045 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; *SHGC*= $0,368$  ; *VT*= $0,229$  dan Kaca 3 mempunyai nilai *U-Value*  $5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; *SHGC*= $0,905$  ; *VT*= $0,913$ ), dan WWR dengan interval 20%-80%.

## 3. Dasar Teori

### 3.1. Pencahayaan Alami

Pencahayaan alami atau yang disebut dengan *daylighting* merupakan pencahayaan yang sinarnya berasal dari cahaya matahari. Suatu gedung dapat memanfaatkan sinar matahari untuk menyinari setiap sudut ruangan dengan menambahkan *Window to Wall Ratio* atau rasio jendela terhadap dinding, hal ini berguna untuk meminimalisir pemakaian energi listrik. Dalam bangunan haruslah memikirkan perencanaan pencahayaan alami yang masuk keruangan karena kualitas cahaya yang masuk akan mempengaruhi kondisi individu. Minimal pencahayaan dapat disesuaikan dengan jenis aktivitas kegiatan yang dilakukan. Pada penelitian ini berdasarkan SNI 03-6575-2001 untuk aktivitas kegiatan meja dan mesin kerja ukuran sedang, kegiatan membaca dan membuat arsip, pencahayaan minimum yang masuk kedalam ruangan yaitu sebesar 300 lux

### 3.2 Daylight Autonomy

*Daylighting autonomy* merupakan presentase suatu titik di dalam ruangan selama satu tahun yang mempunyai pencahayaan yang cukup yaitu dengan minimal 300 lux. Bangunan diasumsikan, ruangan dengan fungsi sebagai kantor yang minimal kuat penerangannya adalah 300 lux

Adapun *daylight autonomy* dapat diberikan dengan rumus<sup>[1]</sup>:

$$DA_{E'} = \frac{n_{E>E'}}{N} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

$E'$  : target illuminansi (dalam lux)

$N$  : banyaknya sampel waktu dalam setahun

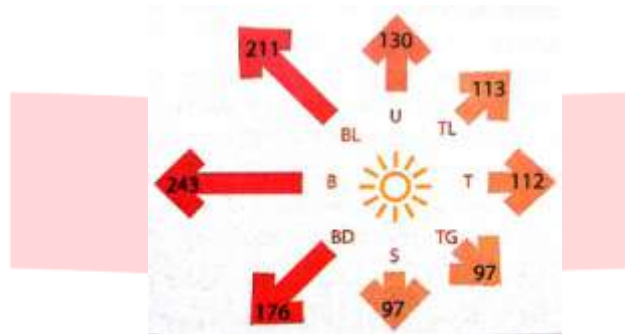
$n_{E>E'}$  : banyaknya sampel waktu dimana illuminansi di bidang kerja ( $E$  dalam lux), pada titik ini bernilai lebih besar atau sama dengan target  $E'$  (300 lux)

### 3.3 Strategi pencahayaan alami

#### 3.3.1 Orientasi bangunan

Orientasi bangunan mengacu pada cara sebuah bangunan terletak pada lahan dan posisi jendela, garis atap dan fitur lainnya selain itu orientasi terhadap lintasan matahari menentukan berapa besar cahaya alami yang dapat dimanfaatkan sebagai pencahayaan ke dalam bangunan [1].

Posisi jendela yang menghadap Utara-Selatan akan menghasilkan energi yang berbeda dengan posisi jendela yang menghadap Barat-Timur, karena *Solar Factor* setiap orientasi akan berbeda nilainya. *Solar factor* atau *solar heat gain factor* merupakan suatu besaran yang menentukan kekuatan sinar matahari yang melewati kaca. Pada gambar dibawah ini akan menjelaskan *solar factor* pada setiap bidang orientasi.



Gambar 1. Solar Faktor dengan iklim Jakarta [4]

#### 3.3.2 Material kaca

3.3.2.1 **Visible Transmittance** Merupakan suatu ukuran kaca yang dapat menstransmisikan jumlah cahaya yang menembus bahan kaca.

3.3.2.2 **Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)** merupakan nilai fraksi radiasi matahari yang diterima oleh jendela kaca yang ditransmisikan ataupun diserap yang kemudian energi tersebut menjadi energi panas di dalam ruangan.

#### 3.3.3 Luas Kaca (WWR/Window to Wall Ratio)

Secara umum definisi *window to wall ratio* adalah perbandingan luas jendela dengan luas dinding eksterior. Akan tetapi dalam penelitian ini terdapat hubungan WWR dengan arah orientasi, maka luas kaca jendela hanya dipasang pada satu sisi atau bidang saja. Maka untuk perhitungan rasio luas kaca dengan luas eksterior dinding juga yang diperhitungkan hanya satu sisi atau bidang saja.

Untuk menghitung WWR pada 1 bidang bangunan, dapat digunakan rumus:

$$WWR_{1 \text{ bidang}} = \frac{Af_{1 \text{ bidang}}}{Aw_{1 \text{ bidang}}} \quad (2)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

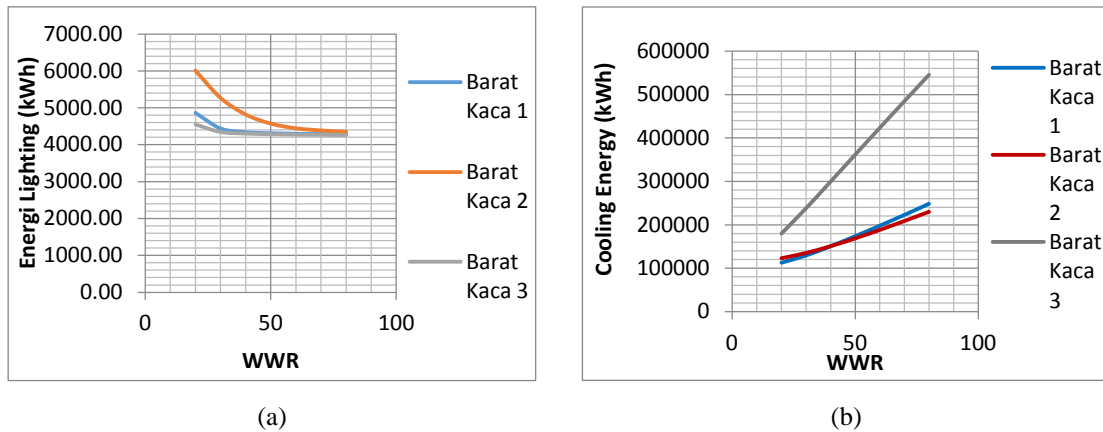
$Af_{1 \text{ bidang}}$  : Luas jendela pada satu bidang

$Aw_{1 \text{ bidang}}$  : Luas permukaan dinding pada satu bidang

## 4 Pembahasan

### 4.1 Hubungan WWR dengan Energi Lighting

Pada gambar 2 terlihat semakin besar WWR semakin kecil juga konsumsi lampu yang dihasilkan, tentu hal tersebut dikarenakan luas permukaan kaca yang besar sehingga cahaya matahari yang ditransmisikan juga akan besar. Tetapi konsumsi lampu pada Kaca 2 energinya lebih besar dibandingkan dengan yang Kaca 1 dan Kaca 3 karena nilai VT yang kecil dibandingkan dengan nilainya yang lain. Sedangkan konsumsi energi setiap arah orientasinya tentu akan menghasilkan nilai berbeda karena *Solar Factor* menentukan energi matahari yang melewati kaca. Pada analisis tersebut dilakukan pada ketiga jenis material kaca dan kedua tipe model bangunan yaitu tipe kecamatan dan tipe ruko.



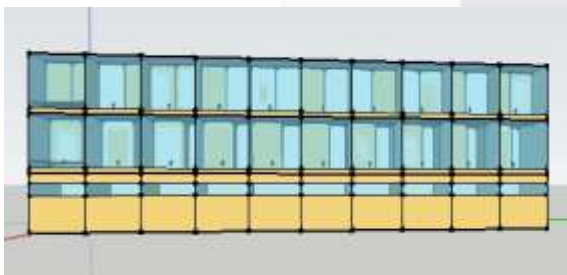
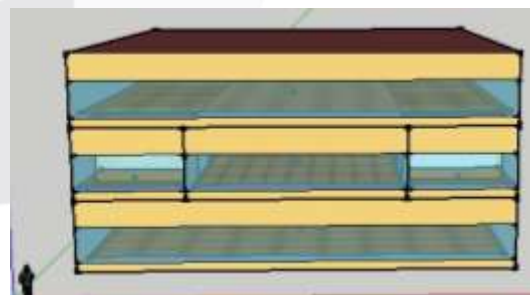
Gambar 2. Grafik Gedung Tipe Ruko

#### 4.2 Hubungan WWR dengan Cooling Energy

Pada gambar 2 (b) terlihat semakin besar WWR semakin besar juga energi yang dibutuhkan untuk memindahkan panas dari suatu ruangan. Pada material kaca tentu akan mempengaruhi energi yang dihasilkan, terlihat bahwa nilai *cooling energy* akan semakin besar untuk setiap Kaca 1, 2 dan 3. Pada setiap jenis kaca terdapat komponen *U-Value*, *SHGC*, serta *VT*. Berbeda energi lampu yang juga dipengaruhi oleh *VT*, pada *cooling energy* hanya dipengaruhi komponen *U-Value* dan *SHGC*. Selain material kaca, orientasi bangunan juga akan mempengaruhi *cooling energy* yang dihasilkan. Dalam hubungan dengan arah orientasi ini tentu orientasi barat yang akan menghasilkan energi yang paling besar dibandingkan dengan yang lainnya karena orientasi barat mempunyai nilai *SF* yang besar dibanding orientasi yang lainnya.

#### 4.3 Analisis WWR dengan cooling energy, lighting, SDA.

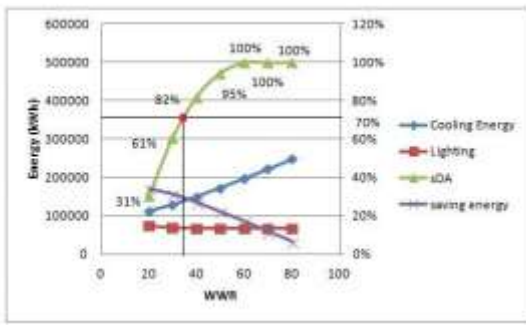
Hasil simulasi ini akan memberikan nilai WWR yang ideal dengan cara menganalisis hubungan grafik *Cooling Energy*, *Lighting*, *SDA*, dan *saving energy*. Untuk *saving energy*, bangunan yang sudah diperbaiki desainnya akan dibandingkan total energinya dengan bangunan *baseline* (dasar). Bangunan dasar mempunyai material kaca dengan nilai  $U\text{-Value}=5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $SHGC=0.729$ ;  $VT=0,685$ . Untuk bangunan ruko mempunyai total energi sebesar 1739.08 GJ dengan WWR lantai 1 20% dan nilai *offset* 2,5 m, sedangkan lantai 2 dan lantai 3 mempunyai WWR 90% dengan nilai *offset* 0,5 m. Bangunan ruko *baseline* menghadap timur. Sedangkan pada bangunan tipe kecamatan mempunyai material kaca yang sama dengan *baseline* ruko, tetapi WWR kecamatan mempunyai nilai 50% untuk setiap lantainya, serta menghadap selatan. Gambar 3 adalah gambar *baseline* Ruko, sedangkan gambar 4 adalah *baseline* Kecamatan.

Gambar 3. Gedung *baseline* RukoGambar 4. Gedung *baseline* Kecamatan

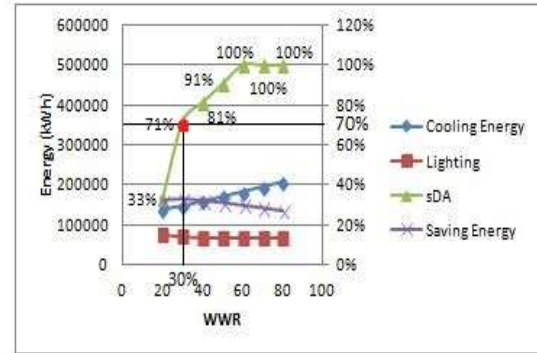
Untuk mencari WWR yang optimal pada grafik dapat dilihat dengan cara:

1. Melihat kriteria minimal *SDA* yaitu 70%
2. Pilih dengan *saving energy* yang paling besar.

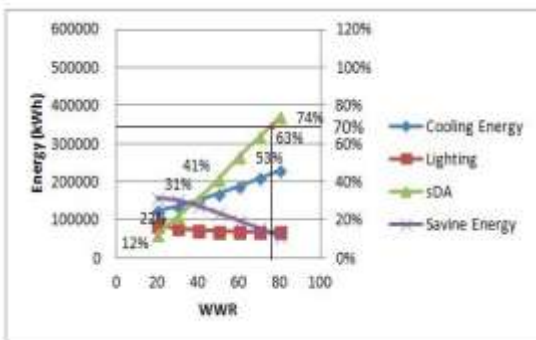
4.3.1 Tipe Gedung Ruko.



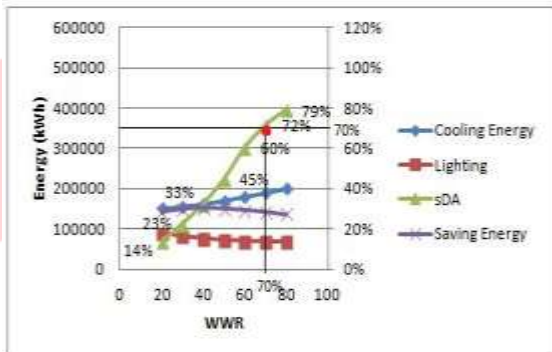
Orientasi Barat, Kaca 1 mempunyai WWR optimal yaitu 40%



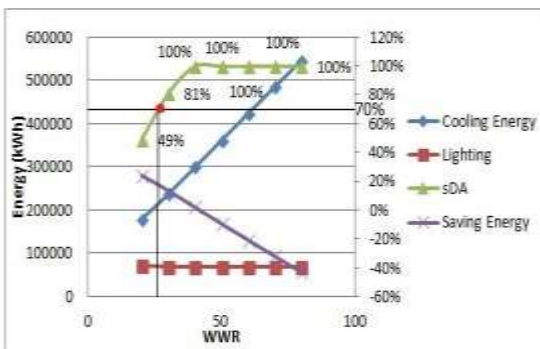
Orientasi Utara, Kaca 1 mempunyai WWR optimal yaitu 30%



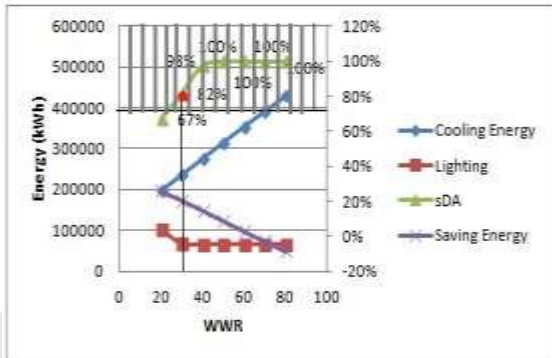
Orientasi Barat, Kaca 2 mempunyai WWR optimal yaitu 80%



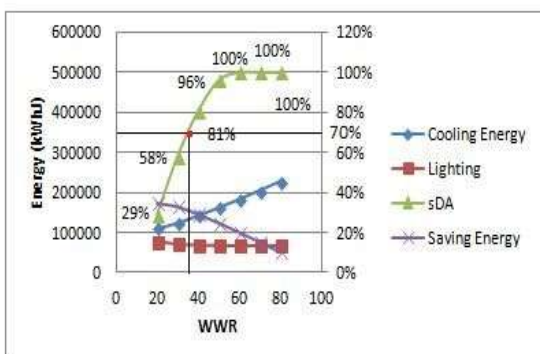
Orientasi Utara, Kaca 2 mempunyai WWR optimal yaitu 70%



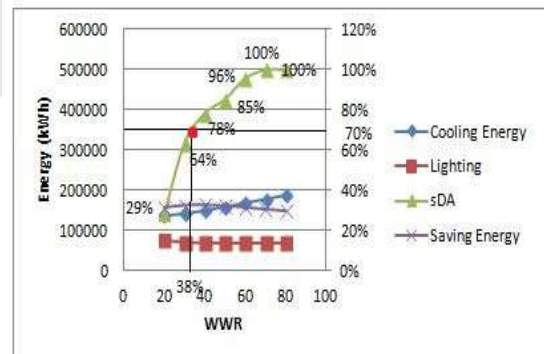
Orientasi Barat, Kaca 3 mempunyai WWR optimal yaitu 30%



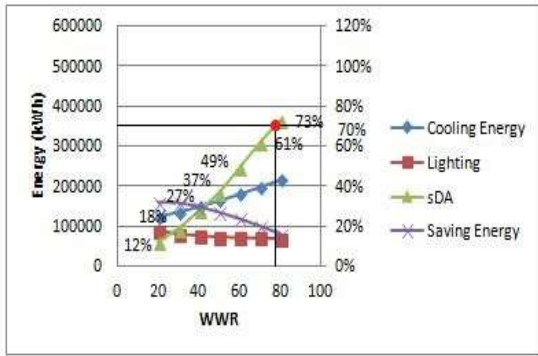
Orientasi Utara, Kaca 3 mempunyai WWR optimal yaitu 30%



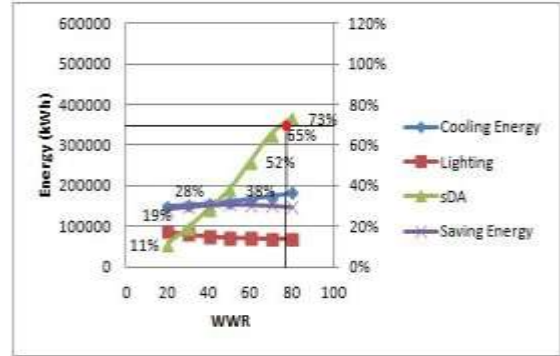
Orientasi Timur, Kaca 1 mempunyai WWR optimal yaitu 40%



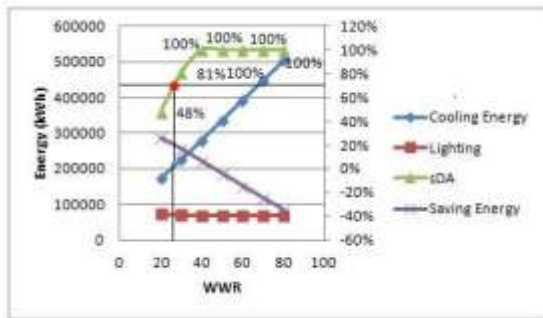
Orientasi Selatan, Kaca 1 mempunyai WWR optimal yaitu 40%



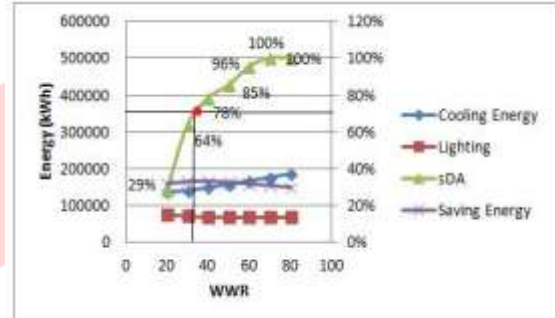
Orientasi Timur, Kaca 2 mempunyai WWR optimal yaitu 80%



Orientasi Selatan, Kaca 2 mempunyai WWR optimal yaitu 80%

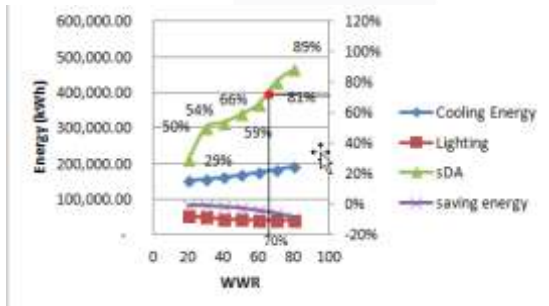


Orientasi Timur, Kaca 3 mempunyai WWR optimal yaitu 30%

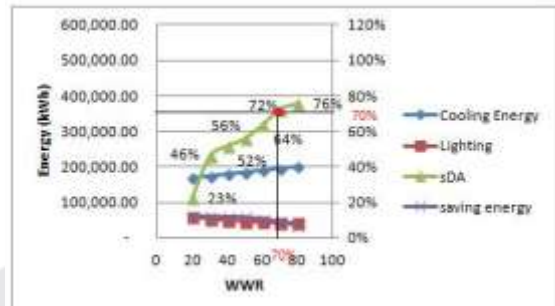


Orientasi Selatan, Kaca 3 mempunyai WWR optimal yaitu 30%

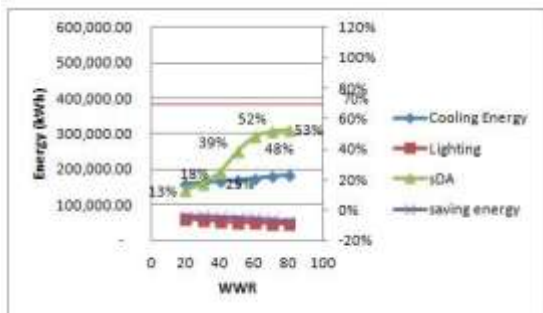
4.3.2 Tipe Gedung Kecamatan



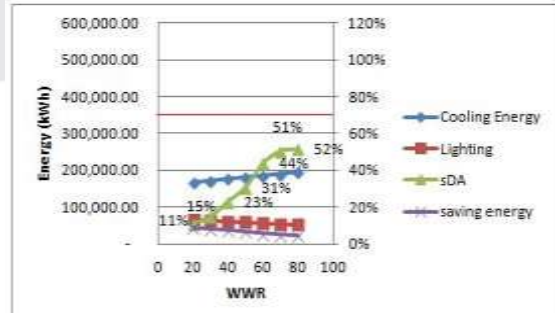
Orientasi Barat, Kaca 1 mempunyai WWR optimal yaitu 70%



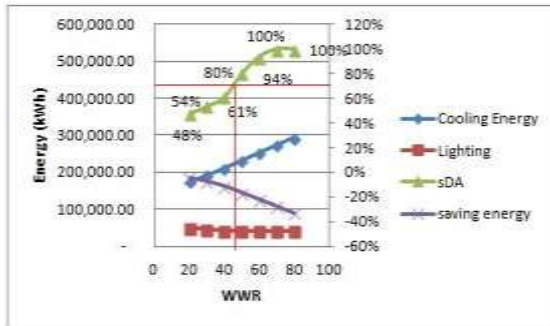
Orientasi Utara, Kaca 1 mempunyai WWR optimal yaitu 70%



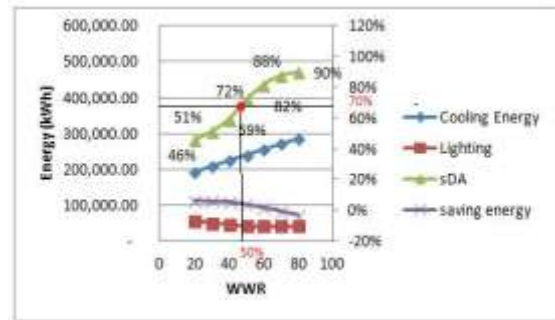
Orientasi Barat, Kaca 2 Tidak ada WWR yang memenuhi kriteria



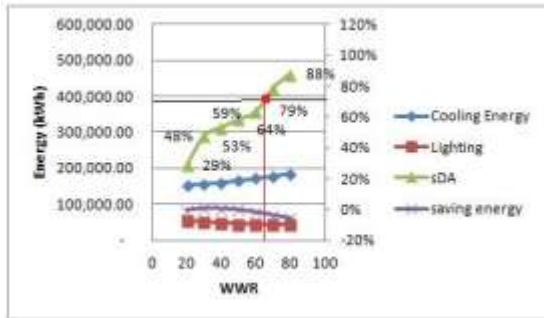
Orientasi Utara, Kaca 2 Tidak ada WWR yang memenuhi kriteria



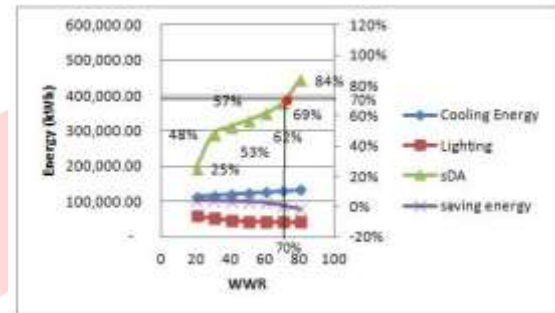
Orientasi Barat, Kaca 3 mempunyai WWR optimal yaitu 50%



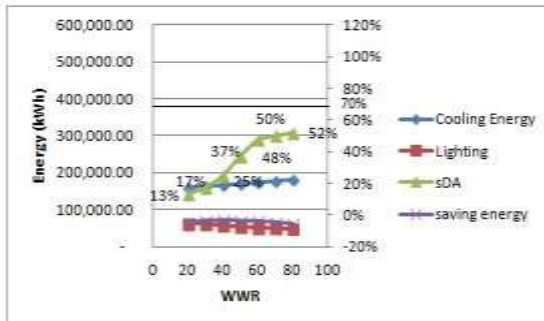
Orientasi Utara, Kaca 3 mempunyai WWR optimal yaitu 50%



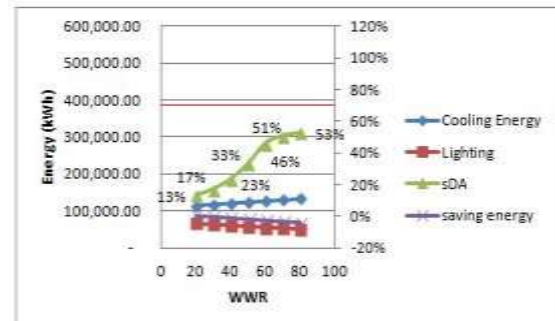
Orientasi Timur, Kaca 1 mempunyai WWR optimal yaitu 70%



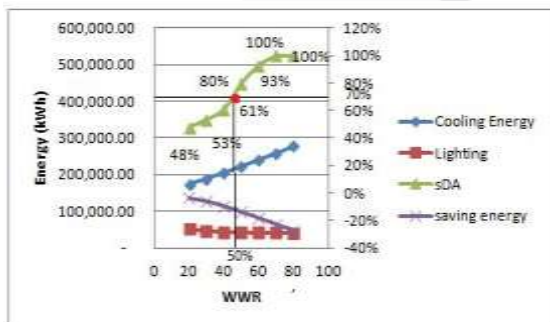
Orientasi Selatan, Kaca 1 mempunyai WWR optimal yaitu 70%



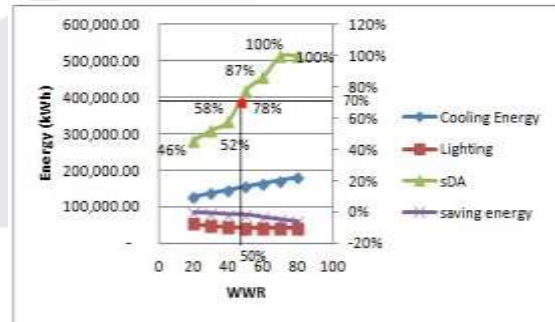
Orientasi Timur, Kaca 2 Tidak ada WWR yang memenuhi kriteria



Orientasi Selatan, Tidak ada WWR yang memenuhi kriteria



Orientasi Timur, Kaca 3 mempunyai WWR optimal yaitu 50%



Orientasi Selatan, Kaca 3 mempunyai WWR optimal yaitu 50%

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. semakin besar maka akan semakin baik juga sistem pencahayaannya akan tetapi sebaliknya untuk sistem penghawaan akan semakin buruk, karena cahaya matahari yang diradiasikan akan semakin banyak.
2. Dalam penelitian ini, ada 2 tipe gedung yaitu:
  - Tipe gedung ruko, gedung yang memiliki luas ±71,6 m<sup>2</sup> setiap lantainya, jenis kaca 1 merupakan jenis kaca yang mempunyai nilai *saving energy* paling besar dibandingkan dengan jenis

kaca 2 dan 3, karena pada Kaca 1 memiliki nilai SHGC dan VT yang menengah sehingga nilai penghematan energi lebih besar dibandingkan jenis Kaca yang lain. Tabel 2 menunjukkan tipe gedung ruko dengan jenis kaca 1 WWR yang ideal yaitu pada rentang 30% -40%.

- Tipe gedung kecamatan, gedung yang memiliki luas  $\pm 672 \text{ m}^2$  setiap lantainya. Pada tabel 1 menunjukkan WWR yang optimal yaitu 70% untuk orientasi Barat, Timur dan Utara, sementara untuk orientasi Selatan yaitu 80%, dengan jenis kaca 1.

Tabel 1 WWR Optimal Tipe Gedung Kecamatan

Tabel 2 WWR Optimal Tipe Gedung Ruko

		<b>WWR optimal</b>	<b>Saving Energy</b>			<b>WWR optimal</b>	<b>Saving Energy</b>
<b>Barat</b>	<b>Kaca 1</b>	70%	-6%	<b>Barat</b>	<b>Kaca 1</b>	40%	27%
	<b>Kaca 2</b>	Tidak ada			<b>Kaca 2</b>	80%	11%
	<b>Kaca 3</b>	50%	-17%		<b>Kaca 3</b>	30%	13%
<b>Timur</b>	<b>Kaca 1</b>	70%	-4%	<b>Timur</b>	<b>Kaca 1</b>	40%	29%
	<b>Kaca 2</b>	Tidak ada			<b>Kaca 2</b>	80%	16%
	<b>Kaca 3</b>	50%	-14%		<b>Kaca 3</b>	30%	17%
<b>Utara</b>	<b>Kaca 1</b>	70%	9%	<b>Utara</b>	<b>Kaca 1</b>	30%	33%
	<b>Kaca 2</b>	Tidak ada			<b>Kaca 2</b>	70%	29%
	<b>Kaca 3</b>	50%	4%		<b>Kaca 3</b>	30%	21%
<b>Selatan</b>	<b>Kaca 1</b>	70%	1%	<b>Selatan</b>	<b>Kaca 1</b>	40%	33%
	<b>Kaca 2</b>	Tidak ada			<b>Kaca 2</b>	80%	30%
	<b>Kaca 3</b>	50%	-1%		<b>Kaca 3</b>	30%	28%

3. *saving energy* memiliki grafik yang menurun, semakin besar WWR semakin kecil *saving energy* yang dihasilkan. Hal tersebut dapat terjadi karena *saving energy* akan berbanding terbalik dengan total energi bangunan yang sudah diperbaiki desainnya, sedangkan grafik total energi mempunyai bentuk linier.

#### Daftar Pustaka

- [1] Syahrullah Moh R. 2012. Pengaruh Integrasi Pencahayaan Alami Pada Sistem Pencahayaan Terhadap Efisiensi Energi Bangunan Tinggi. Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta: Tidak diterbitkan.
- [2] Milianingrum, Tri Hesti. 2015. Optimalisasi Pencahayaan Alami dalam Efisiensi Energi di Perpustakaan UGM.
- [3] \_\_\_\_\_. 2010. Penandatanganan Kerjasama Kemitraan Ikatan Arsitek Indonesia – Konsil Bangunan Indonesia. Jakarta. [Online] Available at: [www.gbcindonesia.org/download/doc.../9-press-release-network-30-september-2010](http://www.gbcindonesia.org/download/doc.../9-press-release-network-30-september-2010) [Accessed 27 Oct 2016]
- [4] Latifah, Nurlaela. 2015, April. Fisika Bangunan 1. Jakarta: Griya Kreasi
- [5] Van Den W, Kevin. M, Alen. 2016. Annual Daylighting Performance Metrics, Explained. [Online] Available at: [http://www.archlighting.com/technology/annual-daylighting-performance-metrics-explained\\_o](http://www.archlighting.com/technology/annual-daylighting-performance-metrics-explained_o) [Accessed 5 July 2017]
- [6] International Finance Corporation (IFC). 2011. Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta, Vol 1. Jakarta
- [7] Window a for high-performance commercial buildings: Visible Transmittance (VT or Tvis) [Online] Available at: <http://www.commercialwindows.org/vt.php> [Accessed 28 May 2017]
- [8] U.S. Departement of Energy 2015 [Online]. Available at: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. [Accessed:6-July-2016]



- [9] National Renewable Energy Laboratory. [Online]. <http://openstudio.nrel.gov/>
- [10] Kuntjahjani, Hartini. 2012. Analisis dan Perancangan Sistem Informasi Tata Naskah Dinas Elektronik Pada Biro Sumber Daya Manusia dan Organisasi (SDMO) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). [Accessed 5 July 2017]
- [11] Parker, Andrew et al. 2014. A Parametric Analysis Tool for Building Energy Design Workflows: Application to a Utility Design Assistance Incentive Program. Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Vol 4: 266

