ANALISIS PENGARUH OTTV TERHADAP INTENSITAS KONSUMSI ENERGI PADA BERBAGAI TIPE BANGUNAN

ANALYSIS OF THE IMPACT OF OTTV ON ENERGY USE INTENSITY OF VARIOUS TYPES OF BUILDING

Alvin Hizra Muhammad[1] , Ery Djunaedy[2], Wahyu Sujatmiko[3], Amaliyah R.I.U.[4]
[1,2,4]Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, [3]Puslitbang Puskim PUPR
[1]alvinhizra9@gmail.com, [2]erydjunaedy@gmail.com, [3]jtwsmiko@gmail.com,
[4]amaliyahrui@telkomuniversity.ac.id

Abstrak
Pada Permen PUPR Nomor 02/PRT/M/2015, disebutkan bahwa persyaratan efisiensi energi (konsumsi energi) pada bangunan gedung hijau adalah selubung bangunan dan nilai OTTV (*Overall Thermal Tranfer Value*). OTTV adalah nilai kriteria selubung bangunan gedung yang dikondisikan. IKE (Intensitas Konsumsi Energi) adalah istilah yang menyatakan jumlah konsumsi energi. Pada penelitian ini, dilakukan simulasi pada berbagai tipe bangunan yang terdiri dari kombinasi enam macam bentuk bangunan, tiga parameter OTTV, yaitu WWR (*Window to Wall Ratio*), jenis dinding, dan jenis kaca, dan enam parameter IKE, yaitu kondisi ventilasi, kondisi infiltrasi, nilai COP (*Coefficient of Performance*) AC, setpoin temperatur AC, okupansi bangunan, dan iklim. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa OTTV dan IKE memiliki hubungan yang linear naik. Parameter-parameter yang paling mempengaruhi adalah WWR, jenis kaca, COP AC, dan iklim. Penelitian ini juga menganalisis pengaruh beban internal dengan OTTV dengan membandingkan *skin factor* dengan perbedaan nilai *slope*. *Skin factor* merupakan perbandingan IKE bangunan tanpa beban internal terhadap IKE bangunan dengan beban internal. Semakin kecil luas selubung/luas lantai bangunan, semakin besar nilai *skin factor*-nya. Bangunan-bangunan dengan nilai *skin factor* yang kecil memiliki perbedaan *slope* yang jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa beban internal sangat mempengaruhi nilai OTTV pada bangunan-bangunan tersebut. Sedangkan, bangunan-bangunan dengan nilai skin factor yang besar memiliki perbedaan *slope* yang tidak jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa beban internal tidak terlalu mempengaruhi nilai OTTV pada bangunan-bangunan tersebut.

Kata kunci : OTTV, IKE, bangunan, simulasi, *EnergyPlus*, efisiensi energi

Abstract
In PUPR Regulation No. 02/PRT/M/2015, it is stated that the requirements for energy efficiency (energy consumption) in green buildings are the building envelope and the value of OTTV (Overall Thermal Transfer Value). OTTV is the value of the enclosed building condition criteria. EUI (Energy Use Intensity) is a term that states the amount of energy consumption. In this study, simulations were carried out on various building types consisting of a combination of six types of building shapes, three OTTV's parameters, namely WWR (Window to Wall Ratio), wall type, and glass type, and six EUI's parameters, namely ventilation conditions, conditions infiltration, COP (Coefficient of Performance) AC value, AC temperature setpoint, building occupancy, and climate. Datas of the results of the study shows that OTTV and IKE had a linear upward relationship. The parameters that most influence are WWR, type of glass, COP AC, and climate. This study also analyzed the effect of internal load with OTTV by comparing skin factor with slope values's different. Skin factor is a comparison of EUI's buildings without internal loads to EUI's buildings with internal loads. The smaller the sheath area/floor area of the building, the greater the value of the skin factor. Buildings with small skin factor values have very different slope differences. This shows that internal load greatly influences the value of OTTV in these buildings. Meanwhile, buildings with large skin factor values have slope differences that are not much different. This shows that the internal load does not greatly affect the value of OTTV in these buildings.

Keywords: *OTTV, EUI, buildings, simulation, EnergyPlus, energy efficiency*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Permen PUPR Nomor 02/PRT/M/2015 tentang bangunan gedung hijau menyatakan bahwa persyaratan tahap perencanaan teknis efisiensi energi (konsumsi energi) bangunan gedung hijau meliputi selubung bangunan dan nilai OTTV (Overall Thermal Transfer Value) yang diperkenankan adalah maksimum 35 watt/m2 [1]. OTTV adalah nilai kriteria selubung bangunan gedung yang dikondisikan. Istilah yang menyatakan jumlah konsumsi energi adalah IKE (Intensitas Konsumsi Energi). Sampai saat ini, telah

dilakukan perhitungan OTTV dan IKE, namun hanya untuk tipe bangunan yang sama dan tidak menganalisis hubungannya. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan OTTV dan IKE disertai analisis pengaruh OTTV terhadap IKE untuk berbagai tipe bangunan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah adalah menghitung dan menganalisis hubungan antara OTTV dan IKE untuk berbagai tipe bangunan. Lalu, menganalisis pengaruh beban internal terhadap nilai OTTV.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah hubungan seperti apa yang dimiliki oleh OTTV dan IKE. Lalu, parameter apa saja yang mempengaruhi nilai OTTV terhadap IKE. Serta, bagaimana hubungan OTTV dan perbedaaan beban internal pada seluruh bangunan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah digunakan enam bentuk bangunan. Lalu, parameter yang digunakan adalah WWR (*Window To Wall Ratio*), jenis kaca, jenis dinding, pengkondisian ventilasi, pengkondisian infiltrasi, COP (*Coefficient of Performance*) AC (*Air Conditioning*), setpoin temperatur, occupancy bangunan, dan iklim dengan nilai tertentu dan jenis tertentu.

Pada penelitian ini, digunakan empat perangkat lunak utama untuk melakukan simulasi, yaitu *SketchUp*, *OpenStudio*, *EnergyPlus*, dan *JEplus*. *SketchUp* merupakan perangkat lunak pemodelan 3D [2]. *OpenStudio* adalah perangkat lunak untuk membantu pemodelan bangunan dengan *EnergyPlus* [3]. *EnergyPlus* adalah program analisis energi dan simulasi beban termal [4]. Jeplus adalah aplikasi yang membantu simulasi *EnergyPlus* untuk banyak parameter [5].

1.5 Hipotesis

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Yuliastina dkk. [6], dinyatakan bahwa besar nilai OTTV berpengaruh terhadap nilai IKE. Dari hasilnya, dapat dinyatakan bahwa nilai OTTV dan IKE memiliki hubungan linear yang naik. Hal yang sama dengan penelitian Suci [7], namun juga dinyatakan adanya hubungan OTTV dan beban Internal melalui perbandingan *skin factor* dengan perbedaan *slope* nilai OTTV. Berdasarkan hal-hal tersebut, hipotesis penelitian ini adalah OTTV dan IKE memiliki hubungan linear yang naik.

2. Dasar Teori

2.1 OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*)

OTTV adalah suatu nilai yang ditetapkan sebagai kriteria perancangan untuk dinding dan kaca bagian luar bangunan gedung yang dikondisikan (mempunyai sistem tata udara) [8]. Perhitungan OTTV mencangkup tiga hal, yaitu konduksi dinding, konduksi kaca, dan radiasi kaca.

Pada perhitungan konduksi dinding, dibutuhkan beda temperatur ekuivalen, absorpsi termal, *U-Value* dinding, dan WWR (*Window to Wall Ratio*). Pada perhitungan konduksi kaca, dibutuhkan *U-Value* kaca, WWR, dan beda temperatur bagian dalam dan luar kaca. Pada perhitungan radiasi kaca, dibutuhkan *shading coefficient*, WWR, dan *solar factor*.

Beda temperatur ekuivalen adalah beda temperatur ruangan dan dinding luar. Absorpsi termal adalah nilai penyerapan energi termal suatu bahan. *U-Value* adalah koefisien perpindahan kalor dari satu sisi bahan ke sisi lainnya. Semakin bahan terinsulasi dengan baik, semakin rendah *U-Value*-nya. WWR adalah perbandingan luas jendela dan luas total dinding luar. *Shading coefficient* adalah nilai perbandingan perolehan kalor antara suatu kaca dengan kaca bening setebal 3 mm jika ditempatkan pada fenestrasi yang sama. *Solar factor* adalah laju rata-rata radiasi matahari sampai pada suatu permukaan [8,9].

OTTV untuk setiap bidang dinding luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu dihitung melalui persamaan:

$$OTTV = \alpha.Uw.(1 - WWR).TDek + SC.WWR.SF + Uf.WWR.\Delta T \tag{2.1}$$

dengan,

$$WWR = \frac{Af}{Atot} \tag{2.2}$$

dan

$$Atot = Aw + Af \tag{2.3}$$

maka,

$$OTTV = \frac{\alpha.Uw.Aw.TDek + SC.Af.SF + Uf.Af.\Delta T}{Atot} \tag{2.4}$$

untuk sebanyak orientasi n, ditulis sebagai berikut.

$$OTTV = \frac{\sum_i^n \alpha i.Uwi.Awi.TDeki + \sum_i^n SCi.Afi.SFi + \sum_i^n Ufi.Afi.\Delta T}{\sum_i^n Atoti} \tag{2.5}$$

Keterangan:

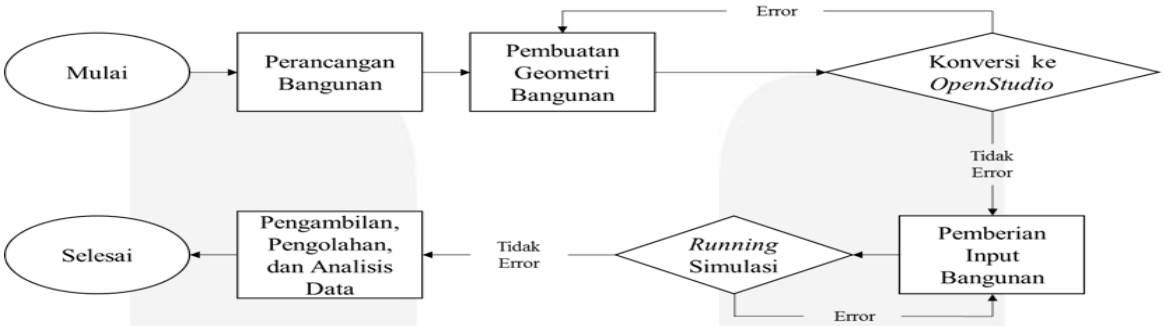
OTTV	= *Overall Thermal Transfer Value* (W/m^2)
α	= Absorpsi termal
Uw	= *U-Value* dinding (W/m^2.K)
WWR	= *Window to Wall Ratio*
Aw	= Luas dinding pada permukaan luar (m^2)
Tdek	= Beda temperatur ekuivalen (K)
SC	= *Shading Coefficient*
Af	= Luas kaca pada permukaan luar (m^2)
SF	= *Solar Factor* (W/m^2)
Uf	= *U-Value* kaca (W/m^2.K)
ΔT	= Beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam (K)
Atot	= Luas seluruh permukaan luar (m^2)

2.2 Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

"Konsumsi energi adalah besarnya energi yang digunakan oleh bangunan gedung dalam waktu periode tertentu dan merupakan perkalian antara daya dan waktu operasi (kWh/bulan atau kWh/tahun). IKE adalah perbandingan antara konsumsi energi dengan satuan luas bangunan gedung dalam periode tertentu (kWh/m^2 per bulan atau kWh/m^2 per tahun)" [10]. Penelitian yang telah ada menggunakan data temperatur lokal (data cuaca/iklim) untuk menghitung konsumsi energi bangunan [11].

3. Pembahasan

3.1. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah metode yang dilakukan pada penelitian ini, seperti yang digambarkan oleh Gambar 3.1, dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Perancangan Bangunan

   Pada metode ini, dirancang bentuk bangunan yang akan disimulasikan.

2. Pembuatan Geometri Bangunan

   Setelah dirancang, geometri bangunan digambarkan secara 3D oleh *SketchUp*. Aplikasi ini akan membentuk selubung-selubung bangunan, seperti dinding, kaca, lantai, dan atap. *SketchUp* harus terlebih dahulu diinstal *OpenStudio SketchUp Plug-in*. Dengan *Plug-in* ini, *OpenStudio* dapat mengkonversi geometri bangunan yang dibuat di *SketchUp* menjadi data *OpenStudio*.

3. Pemberian Input Bangunan dan Running Simulasi

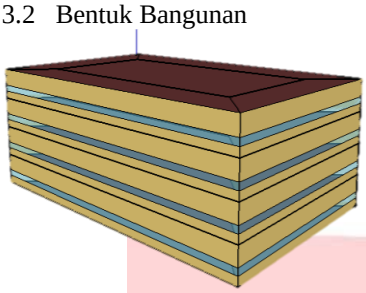
   Setelah dikonversi, data bangunan diberi input parameter bangunan, yaitu parameter-parameter yang ditentukan. Metode ini dilakukan dengan aplikasi *OpenStudio* dan *EnergyPlus*. Setelah diberi input parameter, dilakukan running simulasi dengan aplikasi *EnergyPlus*. Aplikasi Jeplus digunakan untuk membantu melakukan simulasi dan mengambil data.

4. Pengambilan, Pengolahan, dan Analisis Data

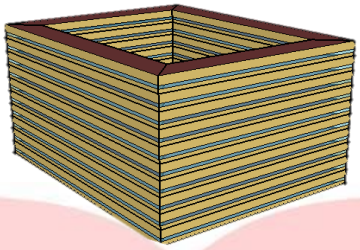
   Setelah dilakukan simulasi, diambil data output hasil simulasi. Hasil tersebut digunakan untuk mendapatkan variabel-variabel yang digunakan untuk melakukan perhitungan OTTV dan IKE. Setelah didapatkan, variabel-variabel dihitung sesuai dengan persamaan 2.5, hasil perhitungan akan dihubungkan dalam grafik XY dimana OTTV di sumbu X dan IKE di sumbu Y. Setelah itu, dianalisis hubungan antara keduanya melalui sifat dan span dari *slope*-nya. Span adalah selisih antara data tertinggi dan data terendah. *Slope* merupakan ukuran kemiringan dari suatu garis. Nilai *slope* didapatkan dengan rumus $\Delta Y/\Delta X$. Nilai *slope* menunjukkan besar perubahan nilai Y terhadap perubahan satu satuan nilai X. Semakin besar perbedaan nilai *slope*, maka semakin besar pengaruh nilai Y terhadap nilai X. Sifat *slope* positif menunjukkan garis linear naik, sedangkan sifat *slope* negatif menunjukkan garis linear turun. Penelitian ini juga membandingkan antara nilai *skin factor* dengan perbedaan nilai *slope* untuk menganalisis pengaruh

beban internal terhadap OTTV. *Skin factor* merupakan perbandingan IKE bangunan tanpa beban internal terhadap IKE bangunan dengan beban internal.

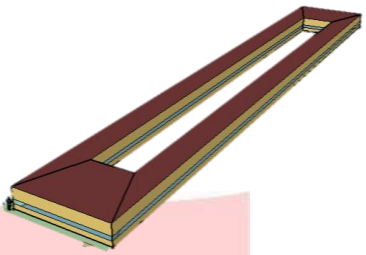
3.2 Bentuk Bangunan



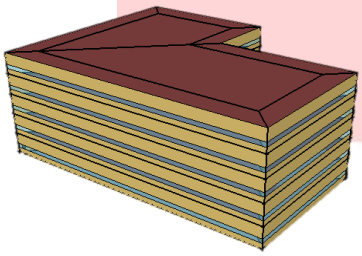
Gambar 2. Bangunan A



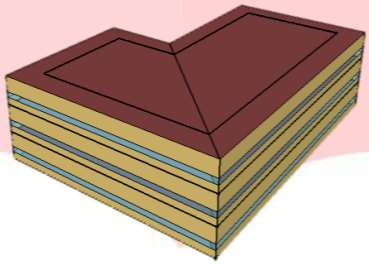
Gambar 3. Bangunan B



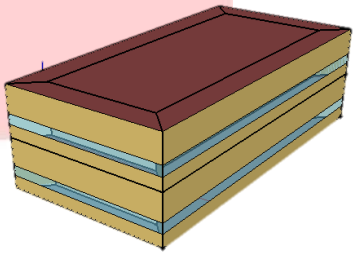
Gambar 4. Bangunan C



Gambar 5. Bangunan D



Gambar 6. Bangunan E



Gambar 7. Bangunan F

Tabel 1. Spesifikasi Bangunan

Nama	Jumlah Lantai	Bentuk	Volume Bangunan (m^3)	Luas Lantai (m^2)	Luas Selubung (m^2)
Bangunan A	4	*Rectangle*	12000	1000	1560
Bangunan B	10	*Hole*	24000	800	9600
Bangunan C	1	*Hole*	2820	940	1212
Bangunan D	5	*L-Shape*	15000	1000	2100
Bangunan E	3	*L-Shape*	9000	1000	1260
Bangunan F	2	*Rectangle*	1200	200	360

3.3 Parameter

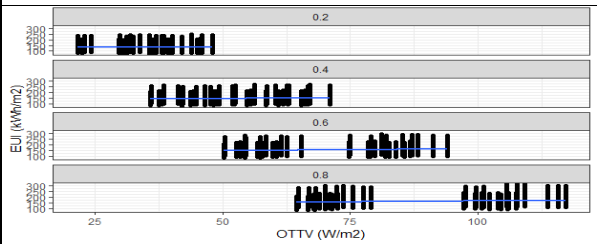
Berikut adalah parameter yang digunakan.

1. WWR : 20%, 40%, 60%, dan 80%
2. Dinding (*U-value*) : Bata dan Semen (3,549), Bata Ringan/Hebel (2,929), dan Parapet Kaca (2,532)
3. Kaca (*U-Value*) : *Single Glazed* (4,513) dan *High Performance Glass* (2,532)
4. Ventilasi : *off*, *on*, dan ERV (*Energy Recovery Ventilator)* untuk mengurangi beban panas udara luar[12]
5. Infiltrasi (m^3/hr.m^2): 10, 5, dan 2
6. COP : 3 dan 4
7. Setpoint temperatur AC (°C) : 23, 24 ,dan 25
8. Okupansi (m^2/*person*): 10 (*high*) dan 20 (standar)
9. Iklim : Bandung dan Jakarta

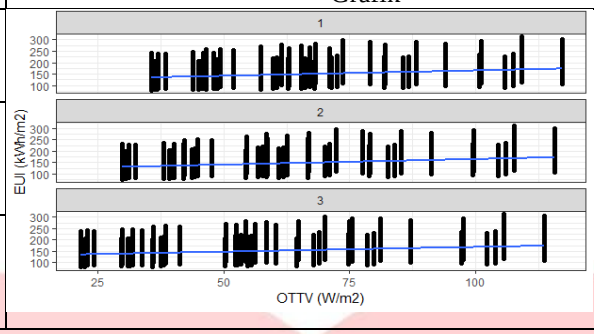
Simulasi juga dijalankan dengan memisahkan bangunan dengan beban internal dan bangunan tanpa beban internal. Untuk bangunan dengan beban internal, keenam bangunan dengan kesembilan parameter tersebut dijalankan dan memililki nilai daya pencahyaan yang sama sebesar 10 W/m^2 dan daya alat-alat listrik yang sama sebesar 5 W/m^2. Namun, pada bangunan tanpa beban internal, hanya diubah nilai parameter infiltrasi, parameter okupansi, daya pencahayaan, dan daya alat-alat listrik menjadi nol saja.

3.4 Hubungan OTTV Terhadap IKE

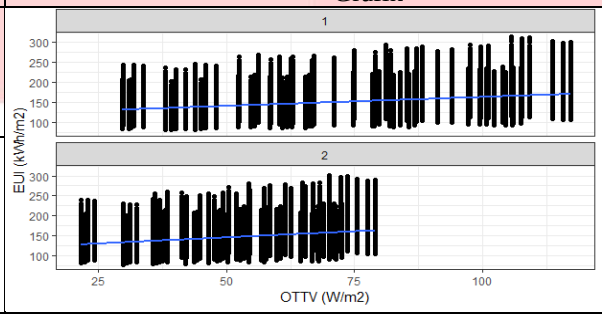
Tabel 2. Perbandingan *Slope* Antara WWR

WWR	Grafik	*Slope*
20%		0,061
40%		0,198
60%		0,247
80%	Span=0,186	0,243

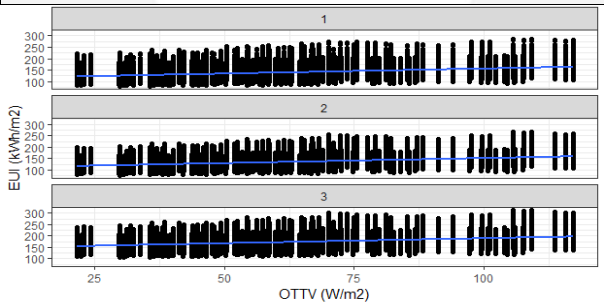
Tabel 3. Perbandingan *Slope* Antara Dinding

Nomor	Grafik	*Slope*
1. Bata dan Semen		0,462
2. Bata Ringan/Hebel		0,484
3. Parapet Kaca		0,413

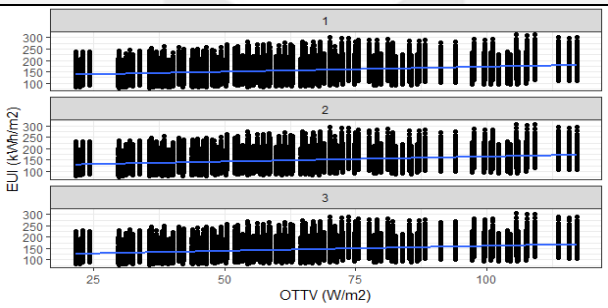
Tabel 4. Perbandingan *Slope* Antara Kaca

Nomor	Grafik	*Slope*
1. *Single Glazed*		0,454
2. *High Performance Glass*		0,634

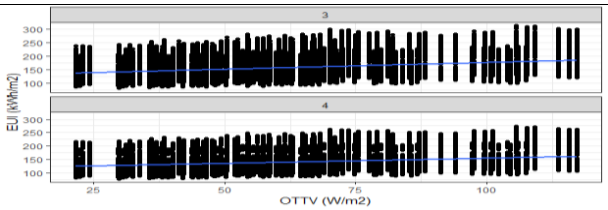
Tabel 5. Perbandingan *Slope* Antara Ventilasi

Nomor	Grafik	*Slope*
1. *Off*		0,4364
2. *On*		0,4339
3. ERV		0,4359

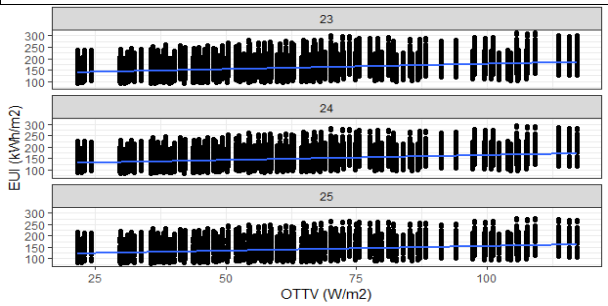
Tabel 6. Perbandingan *Slope* Antara Infiltrasi

Nomor	Grafik	*Slope*
1. 10 $m^3/hr.m^2$		0,4364
2. 5 $m^3/hr.m^2$		0,4351
3. 2 $m^3/hr.m^2$		0,4347

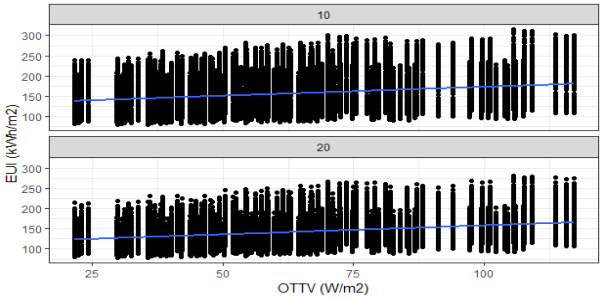
Tabel 7. Perbandingan *Slope* Antara COP

COP	Grafik	*Slope*
3		0,495
4	Span=0,119	0,376

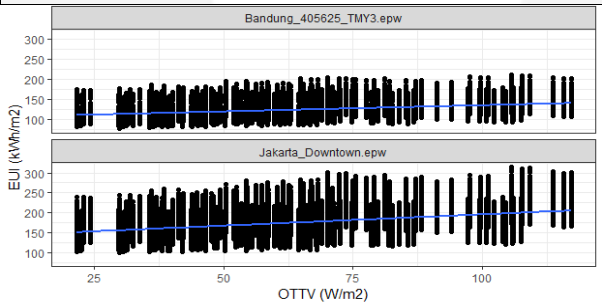
Tabel 8. Perbandingan *Slope* Antara Setpoin Temperatur

Suhu (°C)	Grafik	*Slope*
23		0,468
24		0,433
25		0,405

Tabel 9. Perbandingan *Slope* Antara Okupansi

Okupansi (m^2/orang)	Grafik	*Slope*
10		0,435
20		0,436

Tabel 10. Perbandingan Slope Antara Iklim

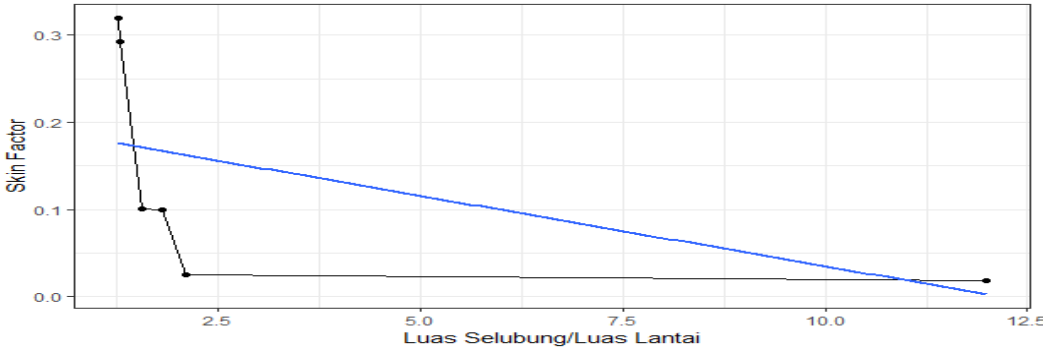
Lokasi	Grafik	*Slope*
Bandung		0,312
Jakarta		0,558

Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah nilai OTTV dipengaruhi oleh beban bangunan dengan membandingkan besar *skin factor* dengan besar perbedaan *slope* pada setiap bentuk bangunan. Data yang didapatkan dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut.

Tabel 11. Tabel *Skin Factor*

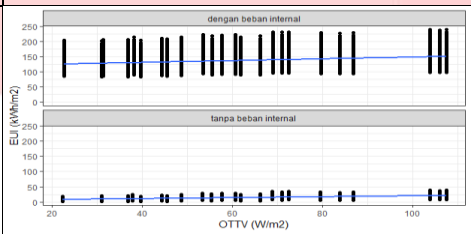
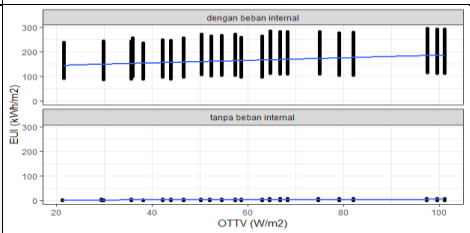
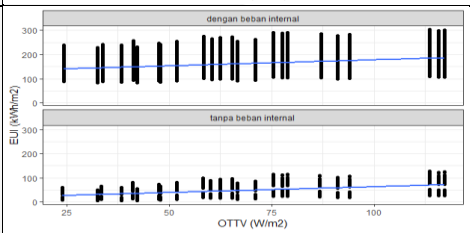
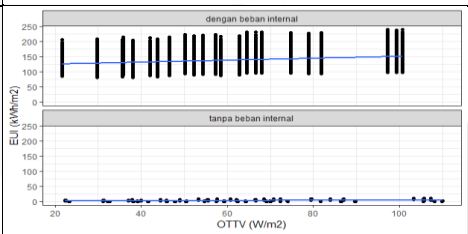
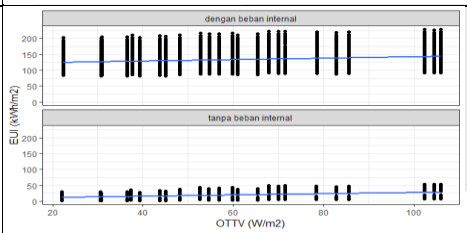
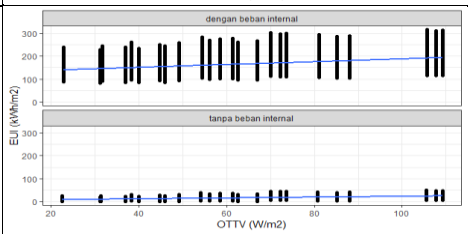
Bangunan	Luas Selubung	Luas Lantai	Luas Selubung/ Luas Area	IKE		*Skin Factor*
				Dengan Beban Internal	Tanpa Beban Internal	
A	1560	1000	1,56	136,955	13,787	10,07%
B	9600	800	12,00	163,313	2,993	1,83%
C	1212	940	1,29	160,873	46,988	29,21%
D	2100	1000	2,10	137,102	3,379	2,46%
E	1260	1000	1,26	60,554	19,371	31,99%
F	360	200	1,80	164,244	16,305	9,93%

Pada tabel 11, ditunjukkan perhitungan nilai luas selubung/luas lantai dan *skin factor* untuk setiap bangunan. Pada gambar 8, terlihat bahwa semakin kecil luas selubung/luas lantai bangunan, maka semakin besar nilai *skin factor*-nya. Apabila diurutkan nilai *skin factor* dari yang terbesar ke yang terkecil yaitu, bangunan E, C, A, F, D, dan B. Sedangkan, luas selubung/luas lantai adalah sebaliknya.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Luas Selubung/Luas Lantai dan Skin Factor

Tabel 12. Tabel Perbandingan *Slope* Antara Bangunan

Bangunan	Grafik	Slope Dengan Beban	Slope Tanpa Beban
A		0,293	0,154
B		0,517	0,039
C		0,498	0,478
D		0,317	0,038
E		0,224	0,195
F		0,623	0,185

Tabel 13. Tabel Perbandingan *Skin Factor* dengan Perbedaan *Slope*

Bangunan	*Skin Factor*	*Slope*		Perbedaan *Slope*
		Dengan Beban Internal	Tanpa Beban Internal	
A	10,07%	0,293	0,154	47,46%
B	1,83%	0,517	0,039	92,41%
C	29,21%	0,498	0,478	3,95%
D	2,46%	0,317	0,038	87,86%
E	31,99%	0,224	0,195	12,85%
F	9,93%	0,623	0,185	70,33%

Pada tabel 12, ditampilkan grafik-grafik dan nilai *slope* pada setiap bangunan. Pada tabel 13, terlihat bahwa bangunan A, B, D, dan F, nilai *skin factor*-nya lebih kecil dan nilai perbedaan *slope*-nya jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa beban internal sangat mempengaruhi nilai OTTV pada bangunan-bangunan tersebut. Sedangkan, nilai *skin factor* pada bangunan C dan E lebih besar dan nilai perbedaan *slope*-nya tidak jauh berbeda. Maka, pada bangunan-bangunan tersebut, beban internal bangunan tidak terlalu mempengaruhi nilai OTTV.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan, maka didapat kesimpulan sebagai berikut.

1. OTTV dan IKE memiliki hubungan linear naik. Hal ini disebabkan nilai-nilai slope bangunan A, B, C, D, E, dan F yang bersifat positif.
2. WWR, jenis kaca, nilai COP, dan iklim merupakan parameter-parameter yang paling mempengaruhi nilai OTTV terhadap IKE karena parameter-parameter tersebut memiliki nilai span perbedaan slope yang paling tinggi dibandingkan parameter-parameter lainnya.
3. Semakin kecil luas selubung/luas lantai bangunan, semakin besar nilai skin factor-nya. Bangunan A, B, D, dan F memiliki nilai skin factor yang kecil dan perbedaan slope yang berbeda drastis. Hal ini menunjukkan bahwa beban internal sangat mempengaruhi nilai OTTV pada bangunan-bangunan tersebut. Sedangkan, bangunan C dan E memiliki nilai skin factor yang besar memiliki perbedaan slope yang tidak jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa beban internal tidak terlalu mempengaruhi nilai OTTV pada bangunan-bangunan tersebut.

Daftar Pustaka:

[1] Lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 02/PRT/M/2015, Bangunan Gedung Hijau, Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015.
[2] SketchUp, "3D Modelling For Everyone," Trimble Inc., [Daring]. Tersedia: https://www.sketchup.com/. [Diakses 1 November 2018].
[3] OpenStudio, "OpenStudio," National Renewable Energy Laboratory, [Daring]. Tersedia: https://www.openstudio.net/. [Diakses 1 November 2018].
[4] EnergyPlus, "Getting Started - EnergyPlus Documentation," [Daring]. Tersedia: https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs_v8.3.0/GettingStarted.pdf. [Diakses 1 November 2018].
[5] JEplus, "Start jeplus.org," [Daring]. Tersedia: http://www.jeplus.org/wiki/doku.php [Diakses 23 Juli 2019].
[6] Yuliastina, Lina; Johan, Johny;, "Efisiensi Energi Listrik Pada Gedung Perkantoran Ramah Lingkungan (Green Office Building)," pada Konferensi Nasional Teknik Sipil 11, Jakarta, 2017.
[7] Suci, “Pengaruh Pemasangan AC Pada Bangunan Tidak Ber-AC,” S.T. tesis, Universitas Telkom, Bandung, Jawa barat, Indonesia, 2016.
[8] Standar Nasional Indonesia 03-6389-2011, Konversi Energi Selubung Bangunan Pada Bangunan Gedung, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2011.
[9] A. Lymath, "What is a U-value? Heat loss, thermal mass and online calculators explained," National Building Specification, 1 Februari 2015. [Daring]. Tersedia: https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-a-u-value-heat-loss-thermal-mass-and-online-calculators-explained. [Diakses 1 November 2018].
[10] Standar Nasional Indonesia 03-6196-2011, Prosedur Audit Energi Pada Bangunan Gedung, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2011.
[11] M. Santamouris, N. Papanikolaou, I. Livada, I. Koronakis, C. Georgakis, A. Argiriou and D. N. Assimakopoulos, "On The Impact of Urban Climate On The Energy Consumption Of Buildings," Solar Energy, vol. 70, no. 3, pp. 201-216, 2001.
[12] Y. P. Zhou, J. Y. Wu and R. Z. Wang, "Energy and Buildings," Performance of energy recovery ventilator with various weathers and temperature set-points, pp. 1202-1210, 2007.