



Hak cipta dan penggunaan kembali:

Lisensi ini mengizinkan setiap orang untuk mengubah, memperbaiki, dan membuat ciptaan turunan bukan untuk kepentingan komersial, selama anda mencantumkan nama penulis dan melisensikan ciptaan turunan dengan syarat yang serupa dengan ciptaan asli.

Copyright and reuse:

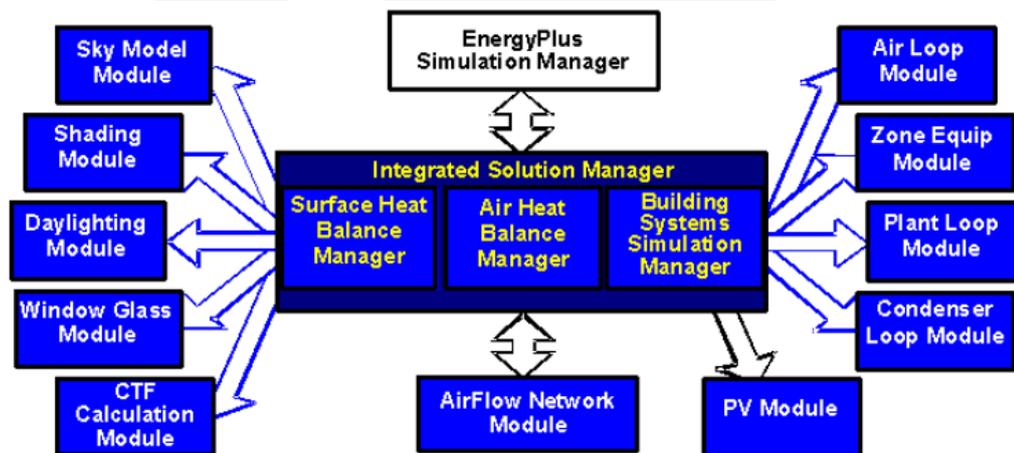
This license lets you remix, tweak, and build upon work non-commercially, as long as you credit the origin creator and license it on your new creations under the identical terms.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Perpindahan Panas pada Bangunan

Perangkat lunak DesignBuilder menggunakan EnergyPlus untuk melakukan perhitungan simulasi. Dengan kata lain DesignBuilder berfungsi sebagai antarmuka untuk memudahkan proses desain atau pembuatan model energi, sedangkan untuk perhitungan model energi itu sendiri menggunakan EnergyPlus. Gambar 2.1. menunjukkan konsep pemodelan dan perhitungan dari EnergyPlus.



Gambar 2.1. Konsep pemodelan dan perhitungan dari EnergyPlus [2]

Untuk tugas akhir ini, *building system simulation manager* yang ada pada Gambar 2.1. tidak dilakukan dengan alasan model energi yang digunakan tidak memiliki sistem yang kompleks yang ada pada bangunan besar, seperti *Chiller* dan panel surya.

Perpindahan panas pada permukaan luar bangunan menggunakan perhitungan seperti berikut:

$$q''_{\alpha sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0 \quad (2.1)$$

dimana,

$q''_{\alpha sol}$ = radiasi (gelombang pendek) matahari secara langsung dan tersebar

q''_{LWR} = radiasi (gelombang panjang) dari lingkungan

q''_{conv} = pertukaran aliran dengan udara luar secara konveksi

q''_{ko} = perpindahan panas secara konduksi ke dalam tembok

Perpindahan panas pada permukaan dalam bangunan menggunakan perhitungan sebagai berikut

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0 \quad (2.2)$$

dimana,

q''_{LWX} = radiasi gelombang panjang dengan permukaan ruangan

q''_{SW} = radiasi gelombang pendek dari matahari dan peralatan pada ruangan

q''_{LWS} = radiasi gelombang panjang dari peralatan pada ruangan

q''_{ki} = perpindahan panas secara konduksi dari tembok

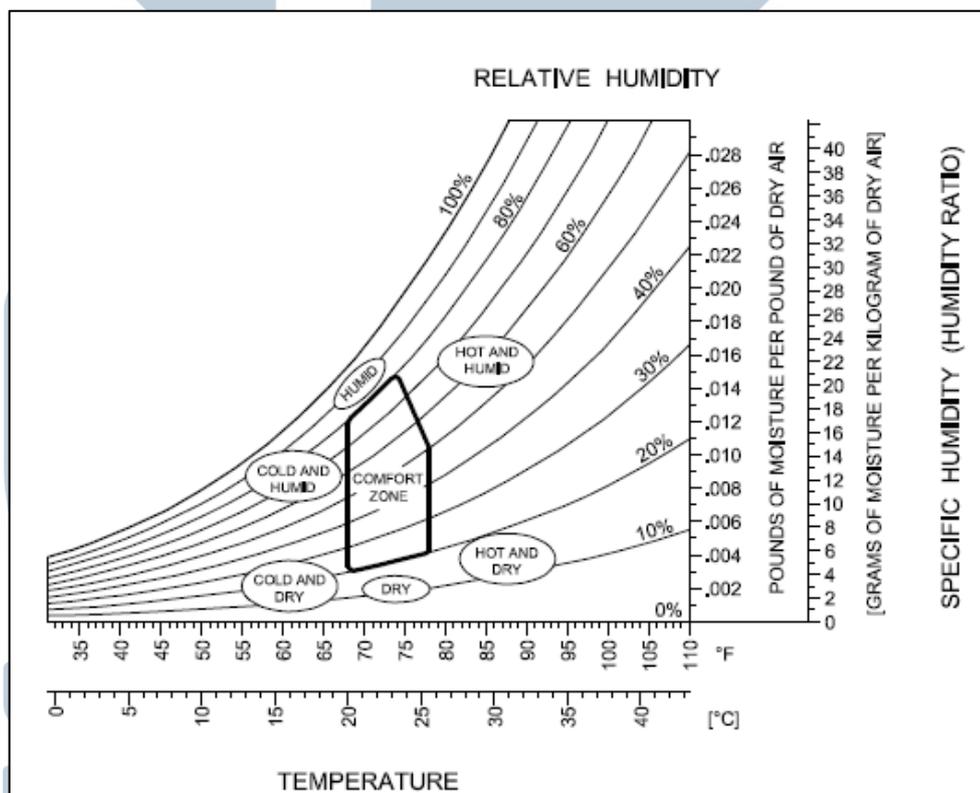
q''_{sol} = radiasi matahari dari panas yang terserap permukaan

q''_{conv} = perpindahan panas secara konveksi ke udara dalam ruangan

2.2 Kenyamanan Termal

Ada empat faktor dari lingkungan yang dapat mempengaruhi kenyamanan termal, yaitu temperatur udara nyaman pada 20°C - 25°C, kelembaban relatif 20 – 60 persen, kecepatan udara 0.1 – 0.3 m/s, dan juga Mean Radiant Temperature

(MRT) dari udara di sekitar. Kombinasi tertentu dari keempat faktor di atas akan menghasilkan kenyamanan termal sesuai dengan iklim dari tempat tersebut yang dapat direpresentasikan oleh *psychrometric chart*. Jika salah satu faktor di luar batas nyaman, maka ketiga faktor lainnya dapat diubah untuk mengembalikan kenyamanan termal tersebut. *Psychrometric chart* adalah sebuah grafik yang menunjukkan hasil studi tentang efek gabungan dari udara dan komposisinya yang dapat mempresentasikan tentang kondisi alam di suatu tempat. Di dalam *psychrometric chart* dapat diperoleh area yang menunjukkan zona nyaman, yaitu area yang merupakan kenyamanan termal seseorang pada umumnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. [3].



Gambar 2.2. *Psychrometric chart* yang menunjukkan daerah nyaman dan juga daerah yang tidak nyaman^[3]

Pada tugas akhir ini, standar kenyamanan termal yang akan digunakan dua dari keempat poin diatas, yakni temperatur ruangan dan kenyamanan termal dengan mengikuti standar SNI 03-6572-2001 yakni temperatur nyaman optimal $22,8^{\circ}\text{C} \sim 25,8^{\circ}\text{C}$ dengan nilai kelembaban relatif $40\% \sim 60\%$ [1].

2.3 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas adalah sebuah metode atau teknik yang digunakan untuk dapat mengetahui seberapa signifikan pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat. Ketika nilai variabel bebas diubah dengan jarak minimum dan maksimum yang ditentukan, akan dilihat pengaruhnya terhadap variabel terikat yang sudah ditentukan. Jika perubahan nilai variabel terikat terjadi secara signifikan sejalan dengan perubahan nilai variabel bebas, maka dapat variabel tersebut menjadi faktor penentu yang patut untuk dianalisis lebih lanjut. Kubba (2016) membuat penelitian mengenai biaya dan keuntungan dalam menggunakan *green design*. Ia menganjurkan penggunaan metode sensitivitas analisis yang dimana juga direkomendasikan oleh FEMP (*Federal Energy Management Program*) untuk konservasi energi dan air. Secara general metode analisis sensitivitas digunakan untuk mengestimasi penurunan dan kenaikan dari parameter. Selain itu analisis sensitivitas juga bagus dalam melakukan berbagai macam tes untuk menjawab pertanyaan “bagaimana jika” [4].

Metode ini digunakan oleh Roder (2019) untuk mengetahui nilai variabel terikat dari emisi gas rumah kaca yang dihasilkan alhasil produksi energi listrik dengan menggunakan palet kayu. Listrik dari biomassa dipertimbangkan dapat

mengurangi emisi gas rumah kaca tersebut. Ada tiga parameter utama yang dianalisis, yakni jenis bahan bakar untuk mengeringkan palet, hilangnya palet kering saat diproses, dan proses biologis penyimpanan palet yang menghasilkan gas CH₄. Dengan membandingkan hasil data analisis dengan parameter variabel bebas yang berbeda, Roder dapat menarik kesimpulan bahwa listrik oleh biomassa dapat mengurangi emisi hingga 80% dibandingkan dengan listrik yang dihasilkan menggunakan batu bara. Tetapi juga dapat diketahui tingkat signifikan dari pengurangan emisi yang dilakukan dengan menggunakan biomassa dapat berkurang jika kedua variabel bebas lainnya tidak dijaga dengan baik, bahkan hingga menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih banyak dibanding listrik bersumber batu bara. Selain itu dengan menggunakan metode analisis sensitivitas tersebut dapat juga diketahui bahwa hilangnya palet kering tidak berdampak signifikan terhadap emisi gas rumah kaca dan proses biologis tidak dapat dipastikan signifikan atau tidak karena data yang dapat dipercaya masih terbatas ^[5].

2.4 VAC (*Ventilation, and Air Conditioning*)

VAC merupakan sebuah tujuan, proses, dan juga teknologi yang digunakan untuk dapat menjaga sebuah ruangan yang berada di dalam gedung pada sebuah kondisi fisik yang diinginkan. Ada banyak kondisi yang diatur terikat dengan aktivitas dan jumlah orang yang menggunakan gedung tersebut, contohnya adalah temperatur ruangan, kelembaban, dan kualitas dari udara yang ada. Pada umumnya di Indonesia yang digunakan adalah ventilasi dan pengkondisian udara karena Indonesia tidak memiliki musim dingin.

Perbedaan temperatur antara udara yang ada di ruangan dengan udara di sekitarnya menyebabkan panas atau kalor mengalir melintasi dinding bangunan. Contohnya pada saat musim panas dimana temperatur di luar lebih tinggi dari pada temperatur di dalam ruangan, maka panas akan mengalir ke dalam ruangan. Hal ini akan membuat penghuni dari ruangan tersebut menjadi tidak nyaman. Sistem VAC dibutuhkan untuk dapat membuat temperatur udara di dalam ruangan tetap berada pada kategori temperatur nyaman. Energi yang dibuang oleh sistem VAC untuk dapat menjaga temperatur tetap rendah dinamakan dengan *cooling load* atau beban pendinginan^[6].

Ventilasi berasal dari kata latin ventus, yang berarti “angin”. Ventilasi sendiri adalah sebuah sistem yang berfungsi untuk memasok udara segar dari luar dan membuang udara pengap dari dalam bangunan atau ruangan. pemasokan udara segar dan membuang udara pengap dari sebuah ruangan merupakan hal yang penting dalam sistem pendinginan udara. Udara segar merupakan faktor penting untuk menjaga kualitas udara dan kesehatan para penghuninya. Pemasokan udara segar juga berfungsi dalam meningkatkan produktivitas para penghuninya diantaranya adalah 35% pengurangan cuti sakit jangka pendek, 55% pengurangan ketidakhadiran, 20% pengurangan polutan, dan masih banyak yang lainnya^[7].

Ventilasi dapat terjadi dengan berbagai macam sumber, baik secara sengaja menggunakan peralatan mekanikal, ventilasi yang terjadi secara alami, maupun ventilasi tidak sengaja oleh infiltrasi udara melalui pori-pori yang ada pada konstruksi bangunan. *Air change per hour* adalah satuan yang digunakan pada tugas

akhir ini, dimana satuan tersebut berarti pergantian udara pada ruangan dengan udara baru dari luar mengikuti volume ruangan yang ada [8].

2.5 Pemodelan Energi

Penggunaan model energi dilakukan agar dapat menganalisis lebih lanjut berbagai macam parameter dari sebuah bangunan. Dengan menggunakan model energi akan memberikan kita kesempatan untuk dapat melakukan simulasi dengan berbagai kondisi yang terkadang tidak dapat dilakukan secara langsung untuk melakukan analisis penggunaan energi secara efisien dan desain optimum dari sebuah bangunan^[9]. Penggunaan energi model sangat efektif ketika ingin membuat bangunan yang ramah lingkungan karena pada tahap perencanaan biaya yang dikeluarkan sangatlah kecil tetapi memiliki dampak besar terhadap performansi dari bangunan nantinya. Tidak terbatas disitu, penggunaan model energi juga dapat menganalisis penggunaan energi bangunan yang sudah dibangun agar dapat mengetahui langkah atau pendekatan seperti apa yang paling efektif baik dari segi biaya atau efisiensi energi terhadap bangunan tersebut.

Pada tugas akhir ini, terdapat model energi dengan kondisi dan pengaturan yang disamakan dengan kondisi nyata dari rumah penulis yang disebut dengan model referensi.

2.6 Peneduh

Peneduh merupakan salah satu cara untuk dapat menurunkan temperatur pada sebuah ruangan akibat pencahayaan alami. Seperti yang diketahui,

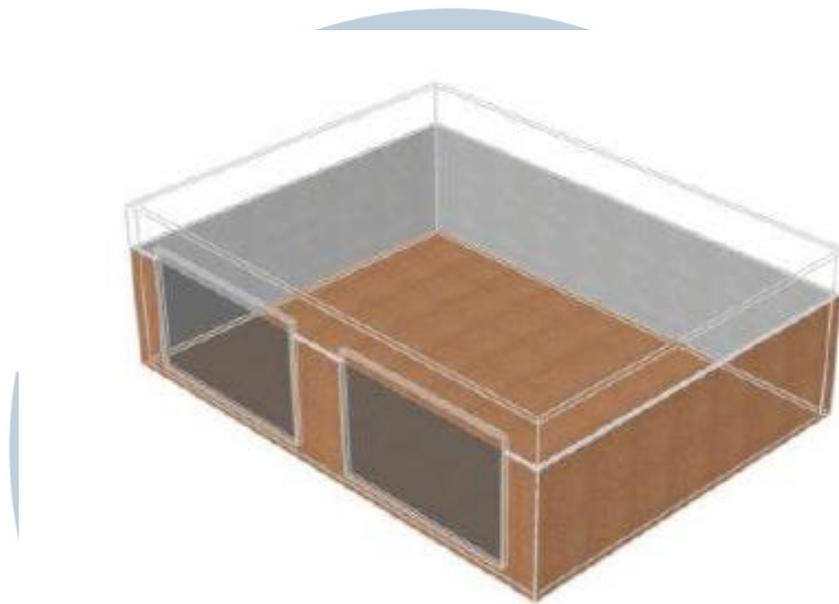
pencahayaannya alami berdampak baik bagi para penghuninya tetapi berdampak negatif terhadap temperatur pada ruangan.

Analisis mengenai pengaruh dari naungan pada bangunan dan konsumsi energi yang tinggi pada gedung perkantoran di Hong Kong memberikan hasil bahwa terjadi penurunan energi pada gedung itu sendiri dan gedung di sekitarnya dari 2.86% hingga 8.48%^[10]. Hal ini membuktikan bahwa naungan merupakan faktor penting dalam upaya penurunan konsumsi energi pada sebuah bangunan.

2.7 Validasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah DesignBuilder. Validasi keakuratan perangkat lunak dilakukan dengan referensi dari “ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests” dengan melakukan salah satu tesnya, yakni *Low Mass Basic Test Case 600*^[11]. Geometri dari *Low Mass Basic Test Case 600* adalah sebuah bangunan berukuran 8 meter x 6 meter dengan tinggi 2.7 meter dan dua buah jendela berukuran 6 m² yang menghadap ke arah selatan. Bentuk akhir geometri dari *Low Mass Basic Test Case 600* adalah seperti Gambar 2.3.

U N I V E R S I T A S
M U L T I M E D I A
N U S A N T A R A



Gambar 2.3. Bentuk geometri dari *Low Mass Basic Test Case 600* ^[11]

Low Mass Basic Test Case 600 dilakukan di Denver Stapleton Airport, Colorado, USA. *Weather data* yang digunakan adalah DRYCOLD.TMY oleh ASHRAE. Tempat diatur pada ketinggian 1609 di atas permukaan laut dengan paparan terhadap angin dari segala sisi.

Spesifikasi yang digunakan pada jendela yang ditunjukkan oleh dan Tabel 2.1. dan Tabel 2.2., 2.3., dan 2.4. untuk detail konstruksi *Low Mass Basic Test Case 600* dimana data terdapat didalam ANSI/ASHRAE 140-2004.

U N I V E R S I T A S
M U L T I M E D I A
N U S A N T A R A

Tabel 2.1. Spesifikasi Jendela ^[11]

Thermal Properties	
Property	Value
Thickness	3.175 mm
Conductivity	1.060 W/mK

Solar Properties	
Property	Value
Solar transmittance	0.86156
Outside solar reflectance	0.07846
Inside solar reflectance	0.07846

Visible Properties	
Property	Value
Visible Transmittance	0.91325
Outside visible reflectance	0.08200
Inside visible reflectance	0.08200

Infra-Red Properties	
Property	Value
Infra-red transmittance	0.00000
Outside infra-red reflectance	0.84000
Inside infra-red reflectance	0.84000

Tabel 2.2. Detail konstruksi untuk dinding^[11]

Low Mass Wall Construction (inside to outside)						
Element	k (W/mK)	Thickness (m)	U (W/m²K)	R (m²K/ W)	Densit y (kg/m³)	Cp (J/kgK)
Int. Surface Coeff.			8.290	0.121		
Plasterboard	0.160	0.012	13.333	0.075	950.00 0	840.000
Fibreglass Quilt	0.040	0.066	0.606	1.650	12.000	840.000
Wood Siding	0.140	0.009	15.556	0.064	530.00 0	900.000
Ext. Surface Coeff.			29.300	0.034		
Total air-air			0.514	1.944		
Total surf-surf			0.559	1.789		

Tabel 2.3. Detail konstruksi untuk atap^[11]

Low Mass Floor Construction (inside to outside)						
Element	k (W/mK)	Thickness (m)	U (W/m²K)	R (m²K/ W)	Densit y (kg/m³)	Cp (J/kgK)
Int. Surface Coeff.			8.290	0.121		
Timber Flooring	0.140	0.025	5.600	0.179	650.00 0	1.200.0 00
Insulation	0.040	1.003	0.040	25.075	12.000	840.000
Total air-air			0.039	25.374		
Total surf-surf			0.040	25.254		

Tabel 2.4. Detail konstruksi untuk atap ^[11]

Low Mass Roof Construction (inside to outside)						
Element	k (W/mK)	Thickness (m)	U (W/m²K)	R (m²K/ W)	Densit y (kg/m³)	Cp (J/kgK)
Int. Surface Coeff.			8.290	0.121		
Plasterboard	0.160	0.010	16.000	0.063	950.00 0	840.000
Fibreglass Quilt	0.040	0.1118	0.358	2.794	12.000	840.000
Roof Deck	0.140	0.019	7.368	0.136	530.00 0	900.000
Ext. Surface Coeff.			29.300	0.034		
Total air-air			0.318	3.147		
Total surf-surf			0.334	2.992		

Nilai infiltrasi untuk semua kasus menggunakan 0.5 ac/h dan selalu ada di setiap waktu. Peralatan dinyalakan dengan nilai daya menggunakan 4.17 W/m². Sistem HVAC diatur menggunakan thermostat dengan dua set poin, yakni dengan pemanasan <20°C dan pendinginan >27°C. Berikut adalah perbandingan nilai hasil

simulasi yang dilakukan oleh penulis dengan nilai yang tertera pada ANSI/ASHRAE Standard 140-2004.

Tabel 2.5. Perbandingan Nilai Data Base Case 600

DesignBuilder Data	Nilai yang didapat	Nilai ASHRAE 140^a
<i>Annual Heating (MWh)</i>	4.370	4.516
<i>Annual Cooling (MWh)</i>	6.579	6.710
<i>Peak Heating (kWh)</i>	3.751 04-Jan pukul 5	3.803 04-Jan pukul 5
<i>Peak Cooling (kWh)</i>	6.429 17-Okt pukul 13	6.558 17-Okt pukul 13

Catatan. Data didapat dari ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 ^[11].

Tabel 2.5. menunjukkan terdapat sedikit selisih antara nilai saat melakukan validasi dengan nilai yang sudah ada pada ASHRAE 140. Hal ini dikarenakan versi perangkat lunak yang digunakan pada ASHRAE dan saat melakukan validasi berbeda sehingga hasil perhitungan yang didapat pun berbeda. Penulis percaya hasil yang terbaru lebih akurat karena versi DesignBuilder yang digunakan merupakan versi yang terbaru.

