

Analisis Material Dinding yang Berpengaruh Terhadap Tingkat Kenyamanan Termal Bangunan

Studi Kasus Bangunan Rumah Tinggal Desain dari Puslitbang Perumahan dan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum

¹ Nurina Vidya Ayuningtyas. Universitas Widya Mataram (² Autif Sayyed. Green Building Specialist- Asia and Pacific, International Finance Corporation, World Bank Group (³Jatmika Adi Suryabrata. Universitas Gadjah Mada
Email nurina.vidya@widyamataram.ac.id

Abstrak

Latar belakang yang sudah ada mengenai upaya mencapai suhu yang nyaman ini tidak dapat hanya diselesaikan dari sisi sistem mekanikalnya, namun pendekatan arsitektural dari desain konfigurasi selubung bangunannya yang mampu membantu dan memberikan efek nyaman bagi penghuninya. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kenyamanan termal atau suhu di dalam ruangan sebuah desain rumah tinggal dengan menerapkan beberapa material dinding yang berbeda-beda sehingga didapatkan nilai perbandingan tingkat kenyamanan termal setiap material dinding yang diaplikasikan. Jenis penelitian ini adalah penelitian dengan menggunakan metode simulasi melalui model komputer (*computer model*). Berdasar hasil analisis sesuai hasil simulasi yang didapat, maka pemilihan material pada menggunakan batako, bata dan bata ringan secara karakteristik memiliki sifat bahan yang mirip. Hal ini dikarekan karakter “*thermal properties*” ketiga bahan ini tidak jauh beda. Berbeda dengan material kayu, berdasar hasil simulasi untuk memperoleh *Surface Inside Temperature*, *Mean Radiant Temperature* dan *Operative Temperature* mendapat hasil suhu/temperatur paling tinggi.

Kata Kunci: Dinding, Batako, Bata, Kayu, Bata Ringan, Kenyamanan, Termal

1. Latar Belakang

Jika membicarakan mengenai kenyamanan termal dalam ruang tentu tidak akan lepas dengan menjadikan indikator suhu sebagai tolok ukurnya. Dalam kasus bangunan dibawah tiga lantai masih sangat besar kesempatannya untuk menggunakan penghawaan alami serta memanfaatkan vegetasi di sekeliling bangunan, namun jika dalam konteks bangunan berlantai banyak tentu tidak dapat disamakan perlakuannya dengan hanya memanfaatkan kondisi lingkungan dan vegetasi saja akan tetapi sangat bergantung pada penghawaan buatan.. Penting untuk diingat bahwa pada saat masuk ke dalam bangunan, cahaya matahari juga membawa energi panas yang bisa sangat mengganggu bila tidak dikondisikan dengan baik. Energi panas, baik yang masuk secara langsung

maupun tidak langsung dapat mengakibatkan suhu ruangan menjadi meningkat. Panas yang terjebak di dalam ruangan akan mengenai tubuh manusia dan berdampak pada terganggunya kenyamanan termal penghuni. Pada bangunan yang menggunakan sistem pendinginan udara, energi panas yang menyertai cahaya yang masuk ke dalam bangunan bisa menjadi beban pendinginan yang signifikan pada sistem pendinginan dan pada akhirnya berakibat pada meningkatnya jumlah konsumsi energi listrik.

Latar belakang yang sudah ada mengenai upaya mencapai suhu yang nyaman ini tidak dapat hanya diselesaikan dari sisi sistem mekanikalnya, namun pendekatan arsitektural dari desain konfigurasi selubung bangunannya yang mampu membantu dan memberikan efek nyaman bagi penghuninya.

Sekarang ini dalam mendesain selubung bangunan jarang memperhitungkan besarnya panas yang akan ditimbulkan oleh selubung bangunan tersebut. Panas yang akan ditimbulkan akan berpengaruh pada kondisi penghawaan yang dirancang pada bangunan tersebut. Sekarang ini baik para arsitek maupun engineer tidak memperhatikan dengan detail besarnya temperature

Kontak: Nurina Vidya Ayuningtyas, Tenaga Pengajar,
Universitas Widya Mataram, Dalem Mangkubumen KT
III/237 Yogyakarta
Tel: 0274-374352 Fax: 0274-381722
e-mail: nurina.vidya@widyamataram.ac.id
(Redaksi akan menambahkan di sini, tanggal diterima dan disetujui
untuk diterbitkan)

yang harus dicapai di dalam ruangan. Antara karakteristik selubung bangunan satu dengan yang lain sudah pasti memiliki sifat dan panas yang akan dihasilkan berbeda-beda. Oleh karena itu hendaknya seting temperatur ini disesuaikan dengan sifat selubung bangunan yang diterapkan pada desain.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kenyamanan termal atau suhu di dalam ruangan sebuah desain rumah tinggal dengan menerapkan beberapa material dinding yang berbeda-beda sehingga didapatkan nilai perbandingan tingkat kenyamanan termal setiap material dinding yang diaplikasikan.

Hasil penelitian ini harapannya dapat memberikan masukan kepada masyarakat khususnya para arsitek dan engineer untuk memberikan masukan dan ilmu baru dalam hal mendesain bangunan dan dapat menjadi acuan dalam proses perencanaan dan perancangan bangunan gedung yang sesuai dengan tingkat kenyamanan penghuninya sekaligus ramah terhadap kondisi lingkungan saat ini.

2. Studi Pustaka

Bangunan merupakan salah satu aspek penyumbang panas di bumi ini. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk meminimalkan panas yang dikeluarkan oleh bangunan. Perolehan panas pada bangunan yang menjadi beban pendinginan dari sistem HVAC bisa dikelompokkan ke dalam dua komponen utama: perolehan panas internal dan perolehan panas eksternal. Okupansi, pencahayaan buatan, peralatan yang mengkonsumsi listrik dan proses lain (misalnya memasak), menghasilkan panas ke dalam interior ruangan yang harus dibuang oleh sistem HVAC untuk mempertahankan tingkat kenyamanan termal. Perolehan panas eksternal bersumber dari radiasi sinar matahari yang mengenai selubung bangunan dan masuk ke dalam ruangan melalui konduksi bidang dinding dan kaca serta radiasi bidang kaca.

a. Karakteristik Material Dinding

Perolehan panas melalui konduksi dinding tidak mengalami penambahan angka yang signifikan. Ini berarti secara umum, sumbangan dinding pada kondisi *U-value* yang tinggi sekalipun kurang signifikan dalam menyumbang perolehan panas eksternal selubung bangunan. Dengan kata lain, bidang dinding merupakan faktor yang signifikan dalam menekan/mengurangi perolehan panas eksternal pada bangunan.

Beberapa tipe dinding yang sering digunakan di masyarakat antara lain dinding batako, bata, bata ringan dan kayu. Keempat material ini memiliki nilai karakteristik khusus yang berpengaruh terhadap proses transfer panas dari luar bangunan menuju ke dalam bangunan.

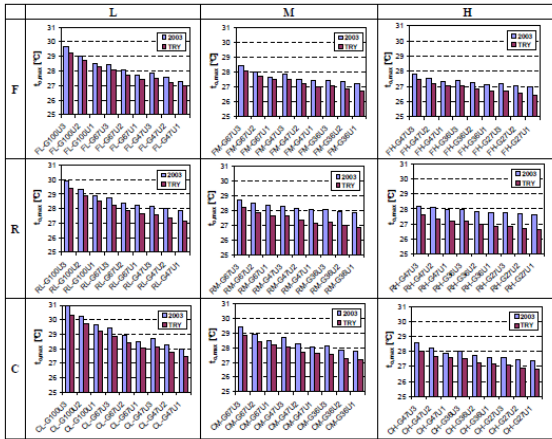
b. Building Form dan Configuration

Bentuk bangunan dengan memaksimalkan paparan Utara dan Selatan dimaksudkan untuk dapat mengambil keuntungan optimal dari sinar matahari selama siang hari dan pemanas surya pasif. Dan itu akan menurunkan biaya pendinginan dengan meminimalkan paparan Barat. Jendela yang berorientasi utara dan selatan terisolasi dengan baik selubung bangunan untuk mencegah perpindahan panas di luar ruangan ke dalam interior. Simulasi pencahayaan dan panas matahari berhubungan erat karena dua hal ini tak dapat dipisahkan. Analisa ini menggunakan alternatif orientasi bangunan barat-timur dan utara-selatan. Sinar matahari bisa berasal dari berbagai arah. Namun lebih dominan pada arah timur ke barat, berdasarkan pergerakan matahari terbit dan tenggelam. Dua alternative orientasi bangunan ini ditentukan berdasarkan arah datangnya matahari.

Dengan *software* Autodesk Ecotect Analysis akan diketahui orientasi bangunan yang lebih menentukan untuk site tersebut. Simulasi ini juga mempertimbangkan kondisi bangunan sekitar, terutama bangunan yang lebih tinggi disekitarnya. Namun karena bangunan disekitar site tidak terlalu dekat, maka bangunan sekitar tidak diperhitungkan dalam simulasi ini. Panas dari pencahayaan matahari yang masuk ke dalam selubung bangunan dapat diperhitungkan sehingga sisi Barat-Timur yang terpapar matahari didesain menggunakan bidang masif. Sedangkan penggunaan shading menjadi penting dalam menurunkan suhu kaca.

c. Material Dinding dan selubung Bangunan

Penelitian yang dilakukan oleh Vladimir (2003) menjelaskan bahwa pemilihan jenis material dinding dan kaca juga mempengaruhi tingkat kenyamanan termal yang akan dirasakan penghuni di dalam ruangan.



Gambar 1. Grafik Perbedaan *Operative Temperature* dengan Tiga Jenis Material yang Berbeda
 Sumber : Vladimir, 2003

Ruangan dengan material dinding lebih ringan dan dengan persentase bukaan sebesar 100% dan 67% memiliki nilai *Operative Temperature* yang tinggi. Berdasar grafik hasil penelitian Vladimir, dkk (2003) menjelaskan bahwa jenis material selubung bangunan dalam hal ini dinding dan kaca memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap tingkat kenyamanan termal dalam ruangan.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Christensen (2008) mengemukakan juga bahwa jarak antara area yang berdekatan dengan bukaan dengan area yang lebih dalam atau lebih jauh dari bukaan juga mempengaruhi besarnya nilai *Operative Temperature*. Grafik diatas menunjukkan hasil penelitian pada sistem pemanasan, jika dilihat semakin jauh area tersebut dari bukaan maka semakin tinggi *Operative Temperature* yang akan dirasakan. Demikian pula pada sistem pendinginan yang berkebalikan dengan sistem pemanasan, semakin jauh letak area tersebut dari area bukaan maka akan semakin dingin atau semakin rendah suhu yang dirasakan dibanding dengan area yang dekat dengan permukaan.

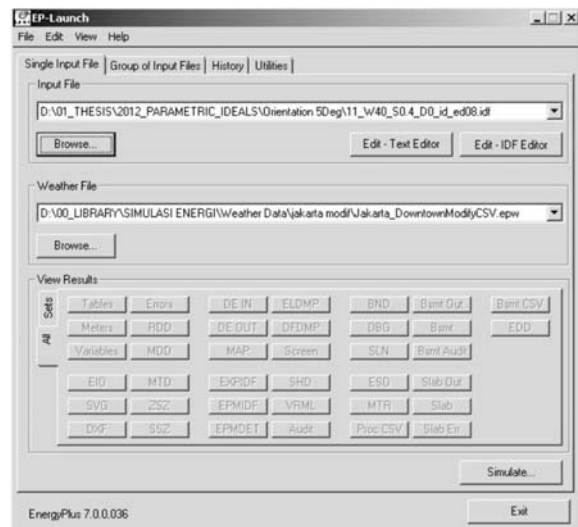
d. Metode

Penelitian ini memiliki fokus untuk menguji material dinding bangunan guna mendapat nilai kenyamanan *Operative Temperature* bagi penghuni. Jenis penelitian ini adalah penelitian dengan menggunakan metode simulasi melalui model komputer (*computer model*). Menurut buku *Architeturual research methods* (Wang, 2002) dalam Saud (2012) bahwa simulasi merupakan pengkondisian suatu bentuk konteks- nyata ke dalam bentuk replika (atau hipotesis

atas konteks dunia nyata). Penelitian jenis ini mampu mengenali hubungan sebab akibat yang biasanya tidak tampak jelas dalam konteks dunia nyata dan seringkali melibatkan faktor probabilitas atau variabel dan interaksi yang sulit diisolasi secara tepat sebelumnya. Teknologi komputer mutakhir memiliki kemampuan komputasi yang kompleks untuk menyimulasikan fenomena natural dan artifisial pada skala mikro maupun makro. Dalam hal ini, komputer digunakan sebagai alat taktis untuk melakukan penelitian. Dengan model komputer, citra dua dimensional ditampilkan dalam ilusi citra tiga dimensional yang memiliki ‘kedalaman’. Kedalaman bisa pula diartikan sebagai kemampuan untuk secara dinamis menampilkan perubahan kondisi, atau menampilkan beberapa layer informasi.

a. Perangkat Lunak Simulasi EnergyPlus

Merujuk pada laman *EnergyPlus Simulation Software7* dan dokumentasi yang disertakan sebagai panduan dalam perangkat lunaknya, EnergyPlus adalah perangkat lunak simulasi energi bangunan berkode terbuka (*open source*) yang digunakan untuk memodelkan penggunaan energi (dan air) di dalam bangunan. Pemodelan tersebut ditujukan untuk mengoptimalkan desain dalam penggunaan energi dan air secara lebih efisien. EnergyPlus memodelkan pemanasan, penyejukan, ventilasi, pencahayaan dan penggunaan air.

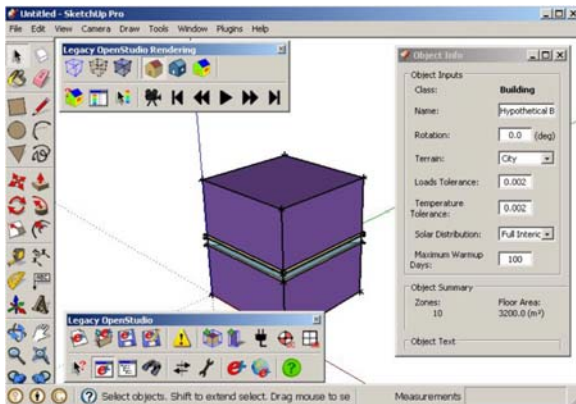


Gambar 2. Perangkat Lunak EnergyPlus
 (Sumber : Analisis Pribadi, 2016)

OpenStudio

OpenStudio adalah *plugin* bebas untuk perangkat

lunak Google SketchUp yang ditujukan salah satunya untuk mempermudah dan mempercepat pemodelan geometri dalam *input* data EnergyPlus. Dengan *plugin* ini, objek yang dibuat di Google SketchUp akan diterjemahkan untuk bisa dibaca sebagai *input* data *file* EnergyPlus. Meskipun demikian, *input* data kunci non-geometri yang akan digunakan dalam simulasi (misalnya properti termal material, layer konstruksi, dan beban-beban panas internal) belum bisa secara leluasa dilakukan di OpenStudio dan tetap harus melalui IDF Editor perangkat lunak EnergyPlus (Djunaedy, 2011).



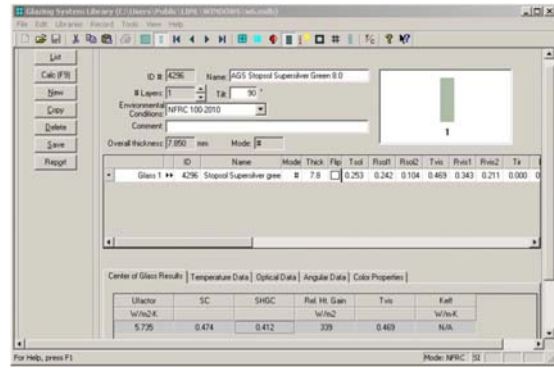
Gambar 3. Perangkat Lunak Google Sketchup dan *Plugin* Openstudio
(Sumber : Analisis Pribadi, 2016)

LBNL Window

Window adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh LBNL (*LawrenceBarkeley National Laboratory*) dan didukung oleh Departemen Energi Amerika Serikat (DoE), digunakan untuk melakukan kalkulasi kinerja termal sistem fenestrasi (misalnya *U-value*, SHGC, SC, dan *visible transmittance*) dengan menggunakan basis data kaca IGDB (*International Glass Data Base*) yang disediakan sebagai satu kesatuan dengan perangkat lunaknya. IGDB adalah basis data yang berisi lebih dari 4000 informasi data optik untuk produk-produk kaca.

Kalkulasi dilakukan terhadap sistem jendela (*window system*), sistem kaca (*glazing system*), bingkai (*frame and divider*) dan sistem peneduh (*shading system*). Perangkat lunak Window diperoleh dari laman [http://windows.](http://windows.lbl.gov/software/window/window.html)

[http://windows.](http://windows.lbl.gov/software/window/window.html) lbl.gov/software/window/window.html sedangkan basis data IDGB diperoleh dari laman <http://windowoptics.lbl.gov/data/igdb/>.



Gambar 4. Perangkat Lunak LBNL Window
(Sumber : Analisis Pribadi, 2016)

Versi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Window v6.3 dengan data IGDB v.22. Window v6.3 memiliki kemampuan untuk menghasilkan laporan dari kalkulasi properti termal sistem fenestrasi ke dalam format yang bisa dibaca oleh perangkat lunak EnergyPlus. Dalam penelitian ini, Window digunakan untuk menemukan dan mengkalkulasi produk kaca dalam IGDB untuk mendapatkan nilai SHGC sesuai dengan rentang variabel yang direncanakan.

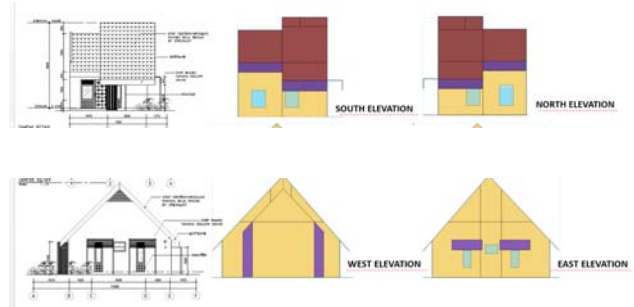
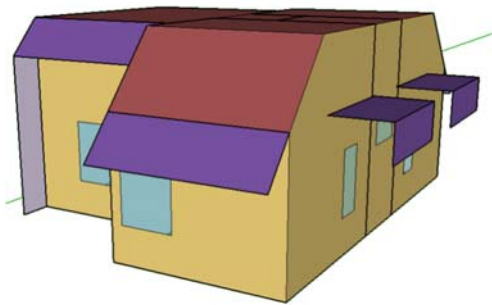
b. Data Iklim

Ketika ingin menjalankan simulasi menggunakan energyplus 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 6,2040 LS dan garis bujur 106,8210 BT pada ketinggian 10 meter di atas permukaan laut. Dipilih kota Jakarta karena dianggap mampu mewakili kondisi maksimum iklim di Indonesia. Data iklim ini didapat dari *workshop* Energi Simulation Training (2011) yang diselenggarakan oleh GBCI (*Green Building Council Indonesia*). *File* data iklim ini diperoleh dari data di laman Weather Analytics (www.wxaglobal.com), sebagai penyedia data iklim dalam format EnergyPlus (*EPW file*). Data iklim ini merupakan kompilasi data iklim dalam 30 tahun antara tahun 1980-2008.

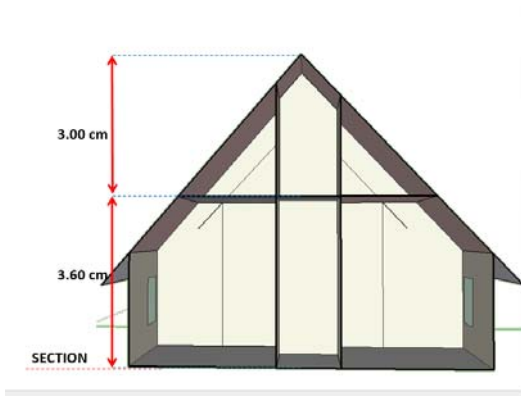
c. Objek Penelitian

Geometri/ Bentuk Bangunan

Simulasi dilakukan dengan membuat model yang sesuai dengan desain asli. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran yang mendekati kondisi asli dari desain



Gambar 7. Tampak Bangunan dalam Simulasi
(Sumber : Analisis Pribadi, 2016)



Gambar 5. Modeling Bangunan dalam Simulasi
(Sumber : Analisis Pribadi, 2016)



Gambar 6. Denah Bangunan dalam Modelling Simulasi
(Sumber : Analisis Pribadi, 2016)

Fungsi Bangunan

Fungsi bangunan yang akan diteliti adalah rumah tinggal yang kemungkinan akan aktif sepanjang hari. Perolehan panas internal (*internal heat gain*) dengan fungsi bangunan gedung perkantoran mengacu pada standar yang telah ditetapkan SNI dan Kepmen PU.

Tabel 1. Input Beban Internal untuk Perkantoran sesuai SNI dan Kepmen PU

Jenis Beban Internal	Breakdown	Besarnya Beban Internal
Okupansi	Okupansi	0.1
	(<i>person/m²</i>)	
	<i>Fraction Radiant Sensible Heat Fraction Activity Level Cloth</i>	0.3 Autocalculate 140 W/person 0.5
Pencahaya-an Buatan	Tingkat pencahayaan (<i>W/m²</i>)	8
	Target iluminasi (<i>lux</i>)	350
	<i>Fraction Radiant Fraction Visible</i>	0.37 0.18
Peralatan Listrik	<i>Watts per Zone Floor Area (W/m²)</i>	10
	<i>Fraction Radiant</i>	0.2
	Jadwal kegiatan	00.00-24.00

Lapisan Konstruksi Bangunan

Ada beberapa jenis material yang digunakan sebagai lapisan konstruksi bangunan, antara lain yaitu :

- Lapisan dinding luar
Material dinding luar menggunakan 4 variabel material termalnya ditampilkan dalam tabel berikut :

Tabel 2. Asumsi Material Dinding yang Digunakan dalam Simulasi

EXTERIOR WALL 1		EXTERIOR WALL 2		
Outermost layer	Wood	Outermost layer	Plaster Wall	
			Hebel	
			Plaster Wall	
	Wood		Plaster Wall	Hebel
Thickness (mm)	0.025	Thickness (mm)	0.015	0.1
Conductivity (W/m-K)	0.18	Conductivity (W/m-K)	0.16	0.16
Density (kg/m ³)	721	Density (kg/m ³)	600	500
Specific Heat (J/kg-K)	1255	Specific Heat (J/kg-K)	1000	1000
Thermal Absorbance	0.9	Thermal Absorbance	0.9	0.9
Solar Absorbance	0.78	Solar Absorbance	0.5	0.6
Visible Absorbance	0.78	Visible Absorbance	0.5	0.6
U value	W/m ² -K	U value	W/m ² -K	1.04
				3.47

EXTERIOR WALL 1			EXTERIOR WALL 2		
Outermost layer	Plaster Wall		Outermost layer	Plaster Wall	
	Hollow Concrete Block (Batako)			Brick	
	Plaster Wall			Plaster Wall	
	Plaster Wall	Hollow Concrete Block		Plaster Wall	Brick
Thickness (mm)	0.015	0.1	Thickness (mm)	0.015	0.102
Conductivity (W/m-K)	0.16	0.51	Conductivity (W/m-K)	0.16	0.77
Density (kg/m ³)	600	1400	Density (kg/m ³)	600	1700
Specific Heat (J/kg-K)	1000	1000	Specific Heat (J/kg-K)	1000	1000
Thermal Absorbance	0.9	0.9	Thermal Absorbance	0.9	0.9
Solar Absorbance	0.5	0.6	Solar Absorbance	0.5	0.7
Visible Absorbance	0.5	0.6	Visible Absorbance	0.5	0.7
U value	W/m ² -K	1.88	U value	W/m ² -K	2.13

- Lapisan dinding dalam
Terdiri dari tiga lapisan yaitu : lapisan pertama (luar) G01a 19mm *gypsum board*, lapisan kedua F04 *Wall air space resistance*, dan lapisan ketiga G01a 19mm *gypsum board*.
- Lapisan lantai
Terdiri dari tiga lapisan yaitu : lapisan pertama (luar) ID *Ceramic*, lapisan kedua ID *Cement Sand Render*, dan lapisan ketiga ID *Concrete-Reinforced 2% Steel*.

e. Analisis dan Pembahasan

Dinding merupakan salah satu elemen penyusun bangunan yang memegang peranan penting. Keberadaan dinding ini menjadi fungsi sebuah bangunan mejadi aman dari segala hal yag membahayakan di luar bangunan. Namun, dengan melihat karakteristik dinding yang massif tentunya

akan memberikan pengaruh juga terhadap kenyamanan termal bangunan di dalamnya. Penelitian ini memfokuskan pembahasan pada faktor kenyamanan termal yang dibentuk dari beberapa aplikasi material dinding sehingga mampu mencapai tingkat kenyamana termal yang dirasakan penghuni berdasar standar yang ada.

Indikator utama dari kenyamanan termal adalah perolehan nilai *operative temperature*. Nilai *operative temperature* merupakan nilai rata-rata antara *mean radiant temperature* dan *air temperature*. Untuk nilai *air temperature* dikunci pada nilai 25°C. Sehingga beberapa indikator yang digunakan utuk menganalisis pengaruh material dinding ini antara lain *surface inside temperature*, *mean radiant temperature* dan *operative temperature*.

Surface inside temperature merupakan besarnya temperature dinding dalam sebuah bangunan, *mean radiant temperature* adalah besarnya panas yang ditimbulkan oleh semua benda dan lapisan yang ada di dalam ruangan, sedangkan *operative temperature* menjadi indiaktor suhu dimana kenyamanan termal itu tercapai atau tidak. Standar kenyamanan termal menurut SNI yaitu 25°C.

Penelitian ini melakukan pengamatan pada hasil simulasi material batako, kayu dan bata ringan. Tabel di bawah ini menunjukkan hasil perolehan nilai *Surface*

inside temperature pada ketiga material di atas dengan pengamatan pada suhu dinding dalam setiap orientasi dan suhu permukaan dalam dari ceiling/plafond.

Tabel 2. Nilai *Surface inside temperature* dinding Batako

(°C)	CEILING	NORTH WALL	EAST WALL	SOUTH WALL	WEST WALL
LIVING ROOM	36.84	29.97	31.32	30.28	0.00
BEDROOM 1	37.25	0.00	31.28	30.54	30.65
BEDROOM 2	36.92	29.89	30.62	0.00	30.39

Tabel 2. Nilai *Surface inside temperature* dinding Bata

(°C)	CEILING	NORTH WALL	EAST WALL	SOUTH WALL	WEST WALL
LIVING ROOM	36.77	30.04	31.51	30.38	0.00
BEDROOM 1	37.20	0.00	31.45	30.67	30.82
BEDROOM 2	36.84	29.97	30.75	0.00	30.55

Tabel 2. Nilai *Surface inside temperature* dinding Kayu

(°C)	CEILING	NORTH WALL	EAST WALL	SOUTH WALL	WEST WALL
LIVING ROOM	39.92	32.76	36.84	33.68	0.00
BEDROOM 1	40.69	0.00	36.33	35.16	36.57
BEDROOM 2	39.78	32.96	34.70	0.00	36.03

Tabel 2. Nilai *Surface inside temperature* dinding Bata Ringan

(°C)	CEILING	NORTH WALL	EAST WALL	SOUTH WALL	WEST WALL
LIVING ROOM	37.39	29.80	30.71	29.99	0.00
BEDROOM 1	37.74	0.00	30.72	30.19	30.30
BEDROOM 2	37.47	29.71	30.22	0.00	30.07

Melihat temuan hasil nilai *Surface inside temperature* pemilihan penggunaan material batako, bata dan bata ringan tidak memberikan efek yang signifikan pada perubahan temperature nya. Sedangkan pada pemilihan material kayu, nilai *Surface inside temperature* meningkat secara signifikan sebesar 6°C. Hal ini dikarenakan sifat kayu yang mudah menyerap dan menyimpan panas sehingga menyebabkan temperatur permukaan dalam menjadi tinggi. Nilai *Surface inside temperature* ini akan sangat berpengaruh pada nilai *mean radiant temperature*. *Mean radiant temperature* merupakan suhu atau temperatur yang muncul dari segala macam permukaan benda yang ada di dalam ruangan baik itu permukaan dinding, kaca maupun suhu yang dimunculkan dari peralatan-peralatan yang ada di dalam ruangan tersebut.

Pembahasan selanjutnya yaitu melihat dari perolehan nilai *Mean radiant temperature*. Hal ini untuk melihat besar-kecilnya suhu/temperature dari segala

hal yang ada di dalam ruangan.

Tabel 2. Nilai *Mean Radiant Temperature* pada beberapa material dinding

	HOLLOW CONCRETE BLOCKS	BRICKS	WOOD	HEBEL
LIVING ROOM	30.28	30.34	33.06	30.15
BEDROOM 1	30.43	30.51	33.95	30.28
BEDROOM 2	30.07	30.14	33.03	29.99

Jika melihat dari tabel di atas, perolehan nilai *Mean Radiant Temperature* karakternya hampir sama dengan perolehan nilai *Surface Inside Temperature*. Penggunaan material batako, bata dan bata ringan tidak memiliki perubahan yang signifikan, hanya terjadi perubahan antara 0.08°C-0.2°C. Sedangkan ketika menggunakan material dinding kayu, suhu atau temperature meningkat signifikan sebesar 3°C. Penyebab material kayu memiliki suhu lebih tinggi karena karakter material kayu memiliki sifat menyimpan panas sehingga berefek pada suhu di dalam ruang yang menjadi lebih tinggi.

Tabel 2. Nilai *Operative Temperature* pada beberapa material dinding

	HOLLOW CONCRETE BLOCKS	BRICKS	WOOD	HEBEL
LIVING ROOM	28.64	28.67	30.03	28.58
BEDROOM 1	28.72	28.76	30.48	28.64
BEDROOM 2	28.54	28.57	30.02	28.49

Indikator utama sebuah kenyamanan termal merupakan suhu yang ditunjukkan dari perolehan nilai *Operative Temperature*. Nilai *Operative Temperature* merupakan suhu yang dirasakan secara nyata oleh kulit manusia ketika berada pada sebuah kondisi ruangan. *Operative Temperature* merupakan nilai rata-rata dari perolehan nilai *Mean Radiant Temperature* dan *Air Temperature*. Nilai *Air Temperature* merupakan seting suhu yang kita akukan pada system HVAC atau system pengondisian ruangan. Pada penelitian ini, nilai *Air Temperature* dikunci pada nilai 25°C.

Hasil perolehan *Operative Temperature* dengan metode simulasi dapat dilihat masij sejalan dengan karakteristik suhu pada nilai *Surface inside temperature* dan *Mean Radiant Temperature*. Nilai pada material batako, bata dan bata ringan memiliki perbedaan nilai *Operative Temperature* yang tidak besar dan signifikan, hanya sekita 0.03°C-1.2°C. Sedangkan pada perolehan *Operative Temperature* material kayu memiliki nilai yang paling tinggi. Terdapat perbedaan yang cukup signifikan yaitu lebih tinggi 2°C.

f. Kesimpulan

Material dinding cukup memberikan efek yang tinggi terhadap suhu atau temperature kenyamanan bangunan di dalamnya selain dari kaca. Material kaca yang sering digunakan di Indoensia antara lain batako, bata, kayu dan bata ringan. Berdasar hasil analisis sesuai hasil simulasi yang didapat, maka pemilihan material pada menggunakan batako, bata dan bata ringan secara karakteristik memiliki sifat bahan yang mirip. Hal ini dikarekan karakter “*thermal properties*” ketiga bahan ini tidak jauh beda. Berbeda dengan material kayu, berdasar hasil simulai untuk memperoleh *Surface Inside Temperature*, *Mean Radiant Temperature* dan *Operative Temperature* mendapat hasil suhu/temperatur paling tinggi. Material kayu memiliki kemampuan untuk menciptakan kondisi suhu di dalam ruang menjadi lebih tinggi. Hal ini dikarenakan sifat kayu yang menyerap dan menyimpan panas, sehingga proses pelepasan suhu/temperature di dalam ruang memperoleh dampak cukup tinggi juga suhu/temperaturnya.

g. Referensi

- Baftim, D. A. (2006). *Pengaruh Rasio Luas Selubung Masif dan Transparan Terhadap Radiasi Matahari Pada Penggunaan Energi Penyejuk Udara Buatan*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Bintarti, F., & Istiadji, A. (2011). Pengembangan Standar Material Untuk Selubung Bangunan Dalam Rangka Konservasi Energi Bangunan (Studi Kasus pada Bangunan Pendidikan). *PPI Standardisasi*, (pp. 35-44). Yogyakarta
- BSN. (2000). SNI 03-6389-2011 Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung. Jakarta.
- BSN. (2001). SNI 03-6572- Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung. Jakarta.
- Christensen, Jørgen E. (2008). *A Method for more specific Simulation of Operative Temperature in Thermal Analysis Programmes*. Denmark : Technical University of Denmark;
- IFC. (2011). *Jakarta Building Energi Efficiency Baseline and Saving Potential Sensitivity Analysis*.
- ISO EN 7730. 2005. *Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Switzerland: International Organization for Standardization.
- Lechner, N. (2001). *Heating, Cooling, Lighting metode Desain untuk Arsitektur*. Jakarta: Rajagrafindo Persada.
- Leung, Christ. Dkk (2012). *Sleep Thermal Comfort And The Energi Saving Potential Due To Reduced Indoor Operative Temperature During Sleep*. China : Department Of Building, Civil And Environmental Engineering, Concordia University, Montreal, Canada.