



PENGARUH FASAD KACA DENGAN MATERIAL PCM TERHADAP SUHU INDOOR PADA HIGH RISE APARTMENT

Litani Evitasari¹, Ima Defiana², dan Ima Defiana², FX Teddy Badai Samodra.²

¹Mahasiswa Program Magister Departemen Arsitektur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

²Dosen Departemen Arsitektur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

E-mail: katarinalitani@gmail.com, imadefiana1@gmail.com

Informasi Naskah:

Diterima:

6 Januari 2023

Direvisi:

11 Februari 2023

Disetujui terbit:

24 Februari 2023

Diterbitkan:

Online

20 Maret 2023

Cetak:

29 Maret 2023

Abstract: In recent years, the selection of building envelope designs frequently using fabricated materials. Glass is commonly chosen because it can make the façade of building more aesthetic and also its installation is quite fast. On the other hand, glass is a good conductor, so the heat from outside can be transferred directly into the building, causing the increase of indoor temperature. This research try to compare combinations of glass materials and various types of PCM that can decrease indoor temperature on the high rise apartment at Surabaya, Indonesia. The purpose of this research is to propose the impact of the application of PCM material to the apartment's glass facade on the indoor temperature of the building based on thermal properties and window-to-wall ratio (WWR). This research using experiment method with the assistance of DesignBuilder software. This research showed that the value of conductivity and density have the most significant effects on decrease indoor temperature. Adding Bio-PCM to the glass facade can reduce the temperature by 2 to 4 K. Beside that, the most significant temperature decrease at 80% WWR simulation in the coldest month with the building facing east. The temperature decreased by 1.3 K. The difference in temperature that occurs in the western orientation in hottest and coldest month reaches 0.57 K.

Keywords: Apartment, PCM, Thermal properties, Tropical, WWR

Abstrak: Selama beberapa tahun terakhir pemilihan rancangan selubung bangunan seringkali menggunakan material fabrikasi. Kaca seringkali dipilih karena pemasangannya yang cepat dan lebih estetik dari sisi visual, namun disisi lain, kaca merupakan penghantar panas yang baik, sehingga panas dari luar bangunan dapat dihantarkan secara langsung kedalam bangunan dan mengakibatkan suhu dalam ruang meningkat. Pada studi ini, terdapat perbandingan kombinasi material kaca dengan beberapa jenis PCM yang mampu mengurangi suhu indoor pada high rise apartment di Surabaya, Indonesia. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengkaji adanya pengaruh penerapan material PCM pada fasad kaca apartemen terhadap performa termal dalam bangunan berdasarkan thermal properties dan WWR (window to wall ratio). Metode yang digunakan merupakan metode eksperimen dengan bantuan software DesignBuilder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai konduktivitas dan densitas berpengaruh paling signifikan terhadap penurunan suhu dalam ruangan. Menambahkan Bio-PCM ke fasad kaca dapat menurunkan suhu sebesar 2 hingga 4 K. Selain itu, penurunan suhu paling signifikan pada simulasi WWR 80% pada bulan terdingin dengan bangunan menghadap ke timur. Suhu turun 1.3 K. Selisih suhu yang terjadi pada orientasi barat di bulan terpanas dan terdingin mencapai 0.57 K.

Kata Kunci: Apartemen, PCM, Sifat termal, Tropis, WWR

PENDAHULUAN

Bangunan tinggi di Indonesia pada umumnya menggunakan jenis kaca *clear glass*, *tinted glass*, *low-E glass*, dan *reflective glass*. Semakin besar nilai *u-value* kaca maka semakin besar pula panas yang didistribusikan ke dalam bangunan (Lestari, 2014). Berdasarkan standar SNI 03-6572-2001, jumlah luasan bukaan ventilasi yang harus disediakan untuk hunian yaitu minimal 5% dari luas lantai ruang. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Soegijanto (2002), bangunan dengan pembayangan WWR 20% tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap energi, jika jenis kaca yang digunakan

mempunyai SC 0.38, adanya pembayangan justru akan menaikkan konsumsi energi 2–2.5 %. Sementara dengan kaca biasa pada WWR 40%-60% pembayangan akan mengurangi 8%-10% energi bangunan. Selain itu, pada penelitian Alfian (2018), WWR sebesar 20% merupakan luas bukaan yang paling efektif dalam kinerja pendinginan pada bangunan yang menggunakan jendela kaca. Performa termal pada umumnya mengacu pada seberapa besar perbedaan suhu diluar ruangan dengan suhu didalam ruangan (Prianto & Setyowati, 2015). Teknologi yang semakin maju membuat semakin bervariasi pula temuan untuk material

insulasi, salah satunya adalah *Phase Change Material* (PCM) yang dapat dijadikan sebagai *thermal storage* pada bangunan.

Phase change materials (PCM) adalah salah satu dari rekayasa selubung bangunan berupa material atau bahan tambahan yang dapat diaplikasikan pada fasad, *ceiling*, dinding, maupun lantai. Dalam teori terkait termal, PCM berperan sebagai insulasi termal. Penggunaan PCM sendiri memiliki tujuan untuk menyerap panas dari matahari dan melepaskannya kembali ke lingkungan sebelum didistribusikan ke dalam bangunan. Kelebihan dari PCM adalah mampu menyerap dan menyimpan panas lebih kuat dan lama dibandingkan dengan material selubung bangunan pada umumnya, tanpa terjadi perubahan suhu dan tanpa merubah keseluruhan dari desain bangunan yang sudah ada (Saputra, 2020).

PCM memiliki kapasitas penyimpanan termal yang besar mencapai 225 kJ/kg, sehingga dapat mereduksi panas dari luar bangunan dengan baik. PCM memiliki 2 jenis, yaitu organik (parafin, bio-PCM) dan anorganik (hidrat gara). Jika dari dua jenis PCM tersebut dibandingkan, maka jenis organik lebih unggul dibandingkan dengan jenis anorganik, hal ini dikarenakan dari segi penyimpanan termal parafin sangat efektif untuk menyerap panas, dan bio-PCM meskipun tidak seefektif parafin dalam menyerap panas, namun memiliki dampak yang sangat minim terhadap lingkungan, sedangkan jenis anorganik selain kurang efektif dalam menyerap panas, beberapa dari jenis ini juga beracun, sehingga dapat membahayakan pengguna

Penelitian tentang PCM pada bangunan pernah dilakukan oleh Uribe and Vera (2021). Dalam penelitiannya, analisis *Phase Change Material* (PCM) yang diintegrasikan ke dalam kaca dilakukan melalui percobaan skala nyata selama satu tahun di dua kantor di Santiago, Chili, dengan fasad berorientasi timur dan rasio jendela-ke-dinding (WWR) 56%. Hasilnya dianalisis pada dua rentang waktu (musiman dan harian) terhadap konsumsi energi sistem HVAC. Penelitian ini menghasilkan sintesa bahwa kaca PCM mampu mengurangi konsumsi energi selama musim panas dan pertengahan musim dan secara signifikan mengurangi beban puncak di musim panas. Penurunan suhu yang cukup signifikan dicapai karena kontrol suhu radiasi rata-rata sepanjang tahun.

Penelitian lainnya terkait dengan performa fasad kaca pernah dilakukan oleh Nematchoua et al. (2020) yang meneliti tentang penerapan material PCM, insulasi termal, dan *external shading* pada fasad bangunan untuk peningkatan performa termal dan pengurangan energi pendinginan di Gedung Perkantoran beriklim tropis pesisir. Taktik dari penelitian ini dilakukan dengan simulasi dalam jangka waktu satu tahun dengan software Design Builder. Hasilnya menunjukkan bahwa material *Phase Change Material* (PCM) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan suhu dalam

ruang dan konsumsi energi di kantor di bawah iklim tropis pesisir yang berbeda.

Selain itu, penelitian terkait PCM yang diintegrasikan dengan kaca pernah dilakukan oleh Bianco et al. (2017) tentang eksperimen performa energi selubung bangunan dengan material kombinasi DGU, polikarbonat dan PCM (parafin, hidrat garam, dan Bio-PCM) di daerah dengan suhu temperate. Hasilnya adalah jendela dengan penutup policarbonat dan PCM mampu mengurangi 40% beban panas ruang. Selain itu, *surface temperature* pada kaca dapat berkurang sebanyak 4-5 °C pada *peak hour*. Jika ditinjau dari penelitian lainnya yang terkait, penelitian tentang pengaruh material PCM terhadap performa termal fasad kaca di iklim tropis belum pernah dilakukan. Studi simulasi material PCM terhadap objek arsitektural Apartemen hampir tidak ditemukan, serta penelitian yang memperhatikan beberapa variabel seperti jenis PCM maupun jenis kaca yang digunakan, juga kombinasi material fasad kaca dan PCM untuk menemukan konfigurasi desain fasad kaca yang paling optimal mereduksi panas hampir tidak ditemukan. Dengan demikian beberapa hal tersebut dapat menjadi celah yang dapat dijawab melalui penelitian ini.

Berdasarkan Pustaka (2002) tentang klasifikasi iklim, Indonesia tergolong sebagai negara beriklim tropis karena berada di garis khatulistiwa, sehingga musim kemarau jatuh pada saat kedudukan matahari lebih tinggi, hal ini mengakibatkan waktu siang menjadi lebih lama. Menurut data iklim BMKG Surabaya selama 5 tahun terakhir, bulan terpanas terjadi di bulan Oktober dengan temperatur udara rata-rata mencapai 30,25 °C dan bulan terdingin terjadi pada bulan Juli dengan temperatur udara rata-rata sebesar 27,94 °C. Surabaya memiliki suhu udara tertinggi mencapai 36 °C. Oleh sebab itu, perlu adanya strategi mitigasi panas agar temperatur di dalam ruang lebih rendah dibandingkan di luar ruang. Strategi yang dilakukan sebagai upaya merespon kondisi iklim tersebut salah satunya adalah dengan meminimalkan perolehan panas pada selubung bangunan. Menurut penelitian Soegijanto (2002), pembayangan kaca normal (*clear glass*) pada WWR 40-60% akan mengurangi sebanyak 8-10% energi bangunan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengusulkan adanya pengaruh penerapan material PCM pada fasad kaca apartemen terhadap performa termal dalam bangunan berdasarkan aspek kombinasi jenis kaca dan jenis PCM, serta *thermal properties*.

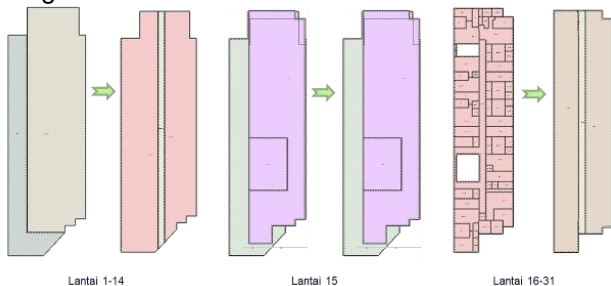
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode simulasi. Software komputer yang digunakan adalah Design Builder. Design Builder adalah software untuk menganalisis energi dan beban simulasi termal.

Sampel Apartemen yang dipilih untuk penelitian ini adalah Apartemen Aryaduta Surabaya dengan rasio WWR > 60%. Pengukuran suhu di lapangan dilakukan selama 5 hari di Bulan Maret 2022. Alat pengukuran suhu yang digunakan yaitu Heat Index WBGT Meter yang diletakkan pada posisi 1.5 - 2

meter dari permukaan lantai. Alat tersebut diletakkan pada lantai 15 Apartemen di perwakilan titik indoor dan titik outdoor bangunan.

Data BMKG dan data pengukuran suhu di lapangan menjadi acuan untuk verifikasi antara kondisi simulasi dengan kondisi eksisting. 3D modeling pada software DesignBuilder ditunjukkan pada gambar 1. Selain data terkait suhu, data material selubung bangunan, fungsi dan *input heat gain* di dalam bangunan juga dibutuhkan untuk proses input ke dalam software simulasi agar kondisi simulasi dapat mendekati kondisi eksisting. Material dinding fasad menggunakan beton *precast* dan dinding partisi indoor menggunakan gypsum dengan rangka besi hollow. Fasad kaca menggunakan *tinted glass* (panasap green 8 mm) dengan frame aluminium. Spesifikasi material yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1. Bangunan lantai 1 sampai 14 merupakan bangunan hotel yang belum beroperasi, sehingga hanya staff yang dapat mengakses daerah tersebut.



Gambar 1. 3D modeling pada DesignBuilder

Pada simulasi penelitian ini, bangunan lantai 1-14 dikategorikan sebagai kantor. Berdasarkan Evitasari (2022) nilai *heat gain* pada bangunan apartemen dapat diklasifikasikan pada Tabel 2. Setelah semua data dikumpulkan, kemudian langkah selanjutnya adalah membuat modeling 3D pada software Design Builder. Beberapa tahapan dan alur dalam simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.

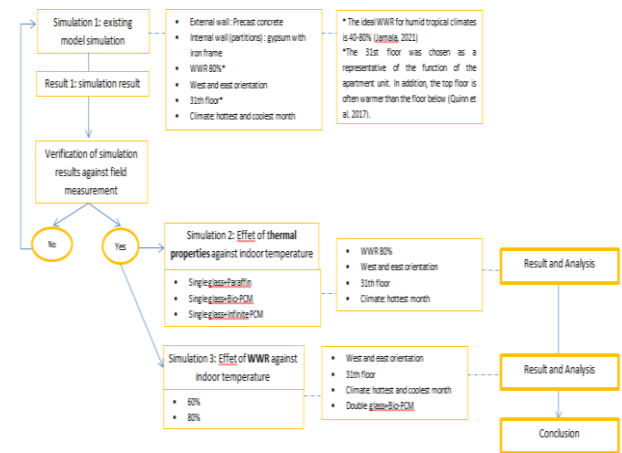
Tabel 1. Spesifikasi material yang digunakan pada bangunan

Elemen fasad	Material	Thermal properties
Dinding eksterior	Beton precast	Ketebalan 30 cm, u-value 0.838 W/m ² K
Dinding interior	Partisi gypsum, rangka besi hollow	Ketebalan 15 cm, u-value 1.639 W/m ² K
Kaca	Tinted glass (panasap flat glass)	u-value 5,8 W/m ² K, Ketebalan 8 mm
Plafon	Metal frame, gypsum	u-value 3.381 W/m ² K
Lantai interior	Granite tile	u-value 2,74 W/m ² K
Lantai eksterior	Pooldeck (parquet flooring)	Wood flooring + insulation, u-value 0.156 W/m ² K

Atap datar	Fiberboard+Metal deck	u-value W/m ² K	1,235
------------	-----------------------	----------------------------	-------

Tabel 2. Klasifikasi heat gain (Evitasari, 2022)

Activity	Floors 1-14 (Office)	15th Floor (Lobby)	Floors 16-31 (Apartment)	Source
Occupancy density	0.05 people/m ²	0.3229 people/m ²	0.05 people/m ²	ASHRAE 90.1 and ASHRAE 62.1 - 2007
Metabolic factors	0.90	0.90	0.90	CIBSE
Clothing	0.5	0.5	0.5	Frick and Koesmartadi(2008)
Lighting	80 lux	120 lux	80 lux	SNI 6197-2011
Lighting Schedule	7 Days/week 18.00-6.00	7 Days/week 7.00-24.00	7 Days/week 18.00-6.00	
HVAC	VRV (Air-Cooled)	VRV (Air-Cooled)	VRV (Air-Cooled)	Daikin (2020), DesignBuilder Library Dat (2022)
Cooling set point	25 C	25 C	25 C	SNI 6390-2011
HVAC Schedule	7 Days/week 10.00-17.00 20.00-5.00	7 Days/week 7.00-22.00	7 Days/week 10.00-17.00 20.00-5.00	
ACH (L/s-person)	4	5	4	BPC Ventilation (2022)



Gambar 2. Tahapan simulasi

Deskripsi Objek Penelitian

Objek penelitian yang dipilih adalah Apartemen Aryaduta. Apartemen ini berorientasi utara, namun jika dilihat dari sirkulasi horizontalnya, bangunan ini termasuk kedalam jenis bangunan dengan *double loaded corridor*, karena memiliki sirkulasi dan koridor pada tengah, sehingga bukaan dan jendela pada setiap unit apartemen diorientasikan menghadap timur dan barat. Bangunan ini memiliki jumlah lantai sebanyak 31 lantai dengan fungsi diantaranya, lantai 1 hingga 3 merupakan area parkir dan kantor, lantai 4 hingga 14 akan difungsikan sebagai hotel, namun belum diresmikan dan dibuka untuk umum, lantai 15 difungsikan sebagai fasum, dan lantai 16 hingga 31 difungsikan sebagai kamar unit. Dalam satu lantai terdapat 14 unit kamar apartemen. Titik pengukuran suhu pada bangunan dan bentuk fasad apartemen dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Lokasi Apartemen Aryaduta (Sumber : Google Earth, 2022)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data penelitian yang telah dikumpulkan, kemudian dilakukan simulasi performa termal pada bulan terpanas dan terdingin, yaitu pada bulan oktober dan juli.

Simulasi diseting menggunakan penghawaan buatan (*mechanical ventilation*). Material dinding eksternal menggunakan beton *precast* mengacu pada penelitian Alfata et al. (2015), yang menjelaskan bahwa mayoritas apartemen di Surabaya menggunakan beton *precast* sebagai dinding eksterior. Klasifikasi material yang digunakan pada simulasi dapat dilihat pada tabel 2. Simulasi dilakukan untuk menganalisis dan *breakdown thermal properties* PCM. Selain itu, simulasi juga dilakukan untuk menganalisis pengaruh WWR terhadap suhu indoor.

Verifikasi Data Hasil Pengukuran terhadap Simulasi

Dari tabel 3 dapat dilihat data perbandingan hasil pengukuran lapangan dengan hasil simulasi. Adanya perbedaan dari kedua data tersebut disebabkan karena perbedaan kondisi lingkungan, seperti pepohonan, aktivitas manusia, dan bangunan sekitar. Selain itu, terdapat penyederhanaan model pada software Design Builder yang menyebabkan adanya perbedaan hasil dari kedua data tersebut. Rata-rata selisih kedua data tersebut tergolong sangat kecil, yaitu 0.41 °C dengan simpangan baku atau standar deviasi (Stdev) sebesar 0.97. Berdasarkan penelitian Mason (1999) semakin kecil nilai standar deviasi yang dihasilkan, maka semakin homogen pula data yang dianalisis. Verifikasi data pengukuran lapangan terhadap simulasi menghasilkan nilai standar deviasi kurang dari 1, sehingga hasil simulasi dapat digunakan untuk

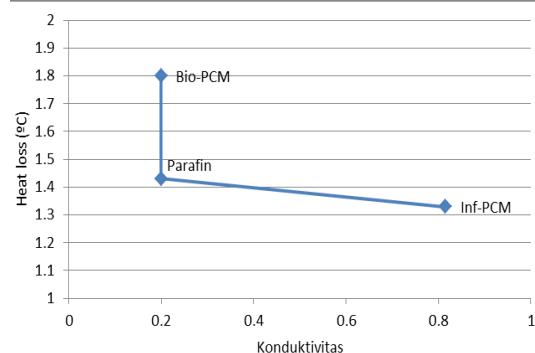
merepresentasikan kondisi suhu lapangan yang sesungguhnya dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil.

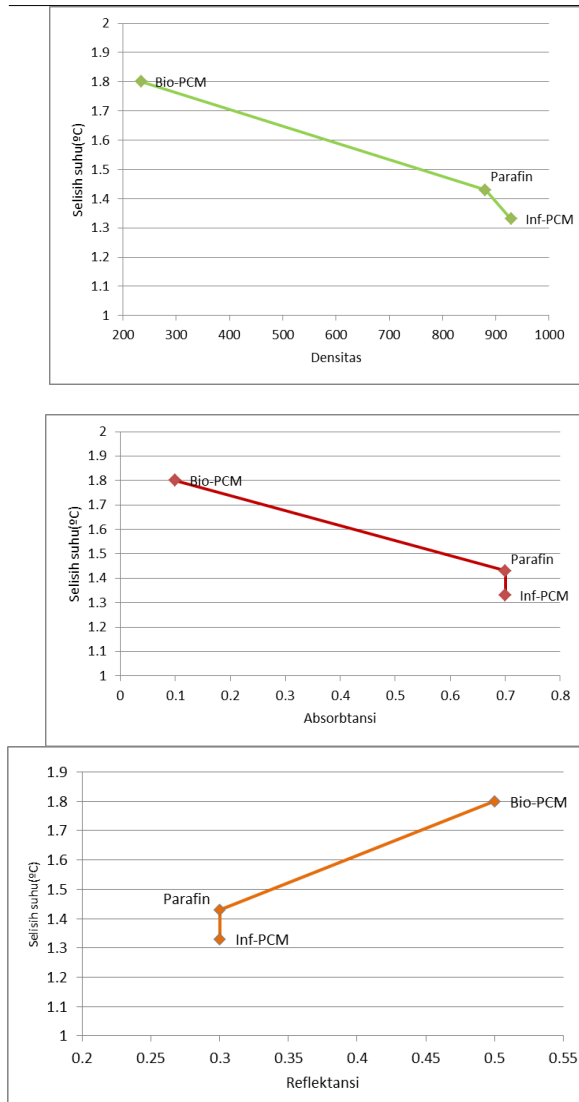
Tabel 3. Standar deviasi data lapangan dan simulasi

No	Tanggal	Waktu	To (°C)		Selisih suhu (°C)
			Eksisting	Simulasi	
1	10/3/2022	0:00	27.6	26.655	0.95
2	10/3/2022	1:00	27.4	26.424	0.98
3	10/3/2022	2:00	27.4	26.116	1.28
4	10/3/2022	3:00	27.4	25.885	1.52
5	10/3/2022	4:00	27.2	25.654	1.55
6	10/3/2022	5:00	27.2	25.5	1.70
7	10/3/2022	6:00	26.1	25.654	0.45
8	10/3/2022	7:00	26.4	26.193	0.21
9	10/3/2022	8:00	27.7	27.502	0.20
10	10/3/2022	9:00	28.3	28.965	-0.66
11	10/3/2022	10:00	29.5	30.274	-0.77
12	10/3/2022	11:00	30.5	31.429	-0.93
13	10/3/2022	12:00	31.1	32.199	-1.10
14	10/3/2022	13:00	31.1	32.815	-1.72
15	10/3/2022	14:00	31.3	33.2	-1.90
16	10/3/2022	15:00	30.9	33.2	-2.30
17	10/3/2022	16:00	30.4	32.738	-2.34
18	10/3/2022	17:00	29.6	32.122	-2.52
19	10/3/2022	18:00	29.4	31.352	-1.95
20	10/3/2022	19:00	29	30.197	-1.20
21	10/3/2022	20:00	28.6	29.35	-0.75
22	10/3/2022	21:00	28.8	28.657	0.14
23	10/3/2022	22:00	28.7	27.964	0.74
24	10/3/2022	23:00	28.5	27.425	1.08
Rata-rata			27.98	27.57	0.41
Sdev					0.97

Pengaruh Thermal Properties PCM terhadap Performa Termal

Berdasarkan simulasi dari beberapa skenario yang dilakukan, jika setiap material di *breakdown* sesuai dengan *thermal properties*, maka skenario dari jenis PCM yang paling efektif menurunkan suhu adalah Bio-PCM yang memiliki nilai densitas yang paling rendah, konduktivitas dan absorbtans yang tergolong rendah dibandingkan dengan Jenis PCM lainnya. Hal ini dapat dilihat pada Grafik 1.





Grafik 1. Grafik pengaruh thermal properties terhadap suhu indoor

Ringkasan properties dan hasil simulasi ketiga jenis material PCM dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil simulasi breakdown thermal properties material PCM terhadap penurunan suhu indoor (Sumber: Design Builder Library Data (2022), Rubitherm (2021))

Thermal properties	Parafin	Bio-PCM	Infinite-PCM
Konduktivitas (W/mK)	0.2	0.2	0.815
Densitas (kg/m ³)	880	235	929
Specific Heat (J/kgK)	2000	1970	3140
Absorptansi	0.7	0.1	0.7
Emisivitas	0.9	0.9	0.9
Reflektansi	0.3	0.5	0.3
Hasil (°C)	-1.43	-1.8	-1.33

Dari beberapa aspek *thermal properties* dari material PCM diatas, dapat diketahui bahwa nilai konduktivitas dan densitas merupakan aspek yang paling berpengaruh dalam penurunan suhu yang terjadi di dalam ruang. Nilai konduktivitas diukur (mengacu) dari nilai densitas bahan. Hal ini sejalan dengan standar SNI 03-6389-2011 yang menyatakan bahwa konduksi melalui bidang solid bergantung pada nilai konduktivitas dan diukur dengan nilai densitas bahan.

Pengaruh WWR terhadap Performa Termal

Hasil dari simulasi pengaruh WWR terhadap performa termal dapat dilihat pada tabel 5. Berdasarkan data pada tabel 5 dapat diketahui bahwa Semakin tinggi WWR dengan penambahan PCM, maka semakin rendah pula rata-rata hasil suhu di dalam ruangnya. Dikutip dari penelitian Soegijanto (2002), pembayangan dengan WWR 20% tidak memiliki pengaruh yang signifikan, dan bahkan jika jenis kaca yang digunakan mempunyai SC hanya 0.38, adanya pembayangan justru akan menaikkan konsumsi energi sebesar 2-2.5 %. Sementara dengan kaca normal pada WWR 40-60% dengan pembayangan ataupun insulasi termal akan mengurangi 8-10% penerimaan energi panas ke dalam bangunan, sehingga semakin tinggi WWR dengan adanya pembayangan atau insulasi, maka semakin baik pula performa termal di dalam bangunan.

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa selisih suhu yang paling besar terjadi pada simulasi WWR 80% di orientasi timur pada bulan terdingin. Penurunan suhu yang terjadi adalah sebesar 1,3 °C. Suhu rata-rata konfigurasi material DGU dan Bio-PCM dengan WWR 80% di orientasi timur mencapai 24,56 °C. Selisih suhu yang terjadi pada orientasi barat di bulan terpanas dan terdingin mencapai 0.57 °C.

Tabel 5. Perbandingan WWR terhadap suhu di dalam ruang

WWR	Material fasad	Orientasi	Periode	Rata-rata suhu (°C)	Selisih suhu (°C)
60%	Double	Timur	Bulan terpanas	26,24	1,27
80%	glass + Bio-PCM	Timur		24,97	
60%	Double	Barat	Bulan terdingin	25,86	0,43
80%	glass + Bio-PCM	Barat		25,43	
60%	Double	Timur	Bulan terdingin	25,86	1,30
80%	glass + Bio-PCM	Timur		24,56	
60%	Double	Barat	Bulan terpanas	28,40	0,40
80%	glass + Bio-PCM	Barat		28,00	

KESIMPULAN

Penambahan material yang paling efektif dalam mereduksi termal adalah PCM jenis Bio-PCM. Penambahan Bio-PCM pada fasad kaca dapat menurunkan suhu sekitar 2-4 K dibandingkan dengan model eksisting. Hal ini disebabkan karena Bio-PCM memiliki nilai densitas (kerapatan), absorptansi dan konduktivitas termal yang lebih

rendah dibandingkan dengan jenis PCM lainnya. Selain itu, material ini memiliki nilai reflektansi yang tinggi.

Penerapan kaca ganda memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan suhu dalam ruang. Rentang penurunan suhu yang terjadi pada bulan terpanas mencapai 0,6-2,9 K, lebih baik 0,45 K dibanding dengan simulasi dengan *single glass*+Bio-PCM. Dari kelima skenario yang dilakukan, skenario 5 yaitu perlakuan dengan menggunakan *double glass tinted* dan *reflective* dengan gap 7 mm Bio-PCM merupakan *treatment* yang paling optimal menurunkan suhu, dibanding dengan keempat skenario lainnya. Hal ini dapat disebabkan karena kaca reflektif memiliki nilai kerapatan, konduktivitas termal dan emisivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan kaca tinted, sehingga panas yang mengalir melalui permukaan kaca tersebut semakin kecil.

WWR dengan penambahan PCM memiliki pengaruh yang berbanding lurus dengan performa termal, semakin besar WWR, maka semakin tinggi pula performa termal yang dihasilkan. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa selisih suhu yang paling besar terjadi pada simulasi WWR 80% di orientasi timur pada bulan terdingin. Penurunan suhu yang terjadi adalah sebesar 1,3 °C. Suhu rata-rata konfigurasi material DGU dan Bio-PCM dengan WWR 80% di orientasi timur mencapai 24,56 °C. Selisih suhu yang terjadi pada orientasi barat di bulan terpanas dan terdingin mencapai 0,57 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfata, M., Hirata, N., Kubota, T., Nugroho, A., Uno, T., Ekasiwi, S., & Antaryama, I. J. E. P. (2015). Field investigation of indoor thermal environments in apartments of Surabaya, Indonesia: Potential passive cooling strategies for middle-class apartments. 78, 2947-2952.
- Alfian, W. O. (2018). Pengaruh Fasad terhadap Kinerja Energi Pendinginan Pada Kantor Pemerintah Di Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Asahimas, F. G. (2020). Asahimas Tinted Float Glass. Retrieved from <http://amfg.co.id/en/product/flat-glass/brochure/2020/05/29/panasap/>
- Bianco, L., Vigna, I., Serra, V. J. E., & Buildings. (2017). Energy assessment of a novel dynamic PCMs based solar shading: results from an experimental campaign. 150, 608-624.
- Evitasari, L., Defiana, I., & Samodra, F. T. B. (2022). Application of PCM in Glass Facade of High-rise Apartment for Thermal Performance Improvement. Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal, 4(3), 245-255.
- Frick, H., & Koesmartadi, C. (2008). Ilmu fisika bangunan (Vol. 8): Kanisius.
- Lestari, L. and M. R. J. L. B. J. A. Alhamdani (2014). "Penerapan Material Kaca dalam Arsitektur." 1(2): 30-42.
- Mason, R. D., & Lind, D. A. (1999). Teknik Statistika Untuk Bisnis & Ekonomi. Edisi ke-9 jilid dua. Terjemahan Wikarya Uka, Soetjipto Widnyono & Sugiharso. Erlangga. Jakarta. Terjemahan dari: Statistical Technique in Business and Economics.
- Nasional, B. S. (2011). SNI 6389: 2011 Konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung. In: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Nematchoua, M. K., Noelson, J. C. V., Saadi, I., Kenfack, H., Andrianaharinjaka, A.-Z. F., Ngoumdoum, D. F. Reiter, S. J. S. E. (2020). Application of phase change materials, thermal insulation, and external shading for thermal comfort improvement and cooling energy demand reduction in an office building under different coastal tropical climates. 207, 458-470.
- Prianto, E. (2012). Strategi disain fasad rumah tinggal hemat energi. 6(1), 54-64.
- Pustaka, T. R. T. (2002). Cuaca dan Iklim. In: Jakarta: Tira Pustaka.
- Rubitherm. (2021). PCM RT SERIES. Retrieved from <https://www.rubitherm.eu/index.php/produktkategorie/organische-pcm-rt>
- Saputra, I. (2020). Kajian Perpindahan Panas Pada Partisi Dinding Yang Mengandung Material Berubah Fasa Berupa Parafin Untuk Aplikasi Ruang Sejuk.
- Soegijanto, Pengaruh Selubung Bangunan Terhadap Penggunaan Energi dalam Bangunan. Disampaikan dalam Seminar Arsitektur Hemat Energi, Universitas Kristen Petra, 23 Nopember 2002.
- Szokolay, S. (2004). Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design Elsevier. In: Architectural Press. Great Britain.
- Szokolay, S., & Koenigsberger, O. J. B. O. L. (1973). Manual of Tropical Housing and Building.
- Uribe, D., & Vera, S. J. A. S. (2021). Assessment of the Effect of Phase Change Material (PCM) Glazing on the Energy Consumption and Indoor Comfort of an Office in a Semiarid Climate. 11(20), 9597.
- Utari, R. P. (2019). Analisa Nilai Overall Thermal Transfer Value (OTTV) Sebagai Konservasi Energi Selubung Pada Bangunan Berdasarkan SNI 03-6389-2011. Paper presented at the Prosiding SENTRA (Seminar Teknologi dan Rekayasa).
- Vigna, I., Bianco, L., Goia, F., & Serra, V. (2017). PCMs in Transparent Building Envelope: A SWOT Analysis.