

THE IMPLEMENTATION OF PHASE CHANGE MATERIAL AT DOUBLE SKIN FACADE AS AN EFFORT TO AIM INDOOR THERMAL COMFORT AT BANDUNG CITY CONTEXT

¹Laurensius Setiawan, ²Wulani Enggar Sari

¹Student in the Bachelor's (S-1) Study Program in Architecture at Parahyangan Catholic University

²Senior lecturer in the Bachelor's (S-1) Study Program in Architecture at Parahyangan Catholic University

Abstract - The building envelope is one of the important building elements to create indoor thermal comfort of the building because it interacts directly with the environment outside the building. Double skin facade is one of the building envelope design strategies that not only be used as part of the building facade design but can also be used to increase the indoor thermal comfort of the building.

Along with the development of technology, design of the double skin facade is also increasingly diverse and developing, one of which is the material technology used. Phase change material is a material that is quite renewable and can be applied to various building elements such as building envelopes or double skin facades. Phase change material is a material that has the ability to release and store latent heat energy for a relatively long period of time without experiencing a change in temperature. Phase change materials have the ability to change phase from liquid to solid or vice versa. Some types of phase change materials have a transparent character so that this character can be utilized and applied to transparent building elements such as building envelopes or double skin facades as a strategy to increase the indoor thermal comfort of the building.

This study aims to determine the effect of the application of phase change materials on the building's double-skin facade on the thermal comfort of indoor buildings in the city of Bandung. phase change material itself is a material that has not been widely applied, especially in the world of architecture so that research on phase change materials can increase knowledge about strategic innovations to achieve thermal comfort in buildings.

This type of research is quantitative research with experimental methods using digital simulation. Experiments with digital simulations were carried out using Design Builder and EnergyPlus software. The analysis is carried out by comparing the conditions of the simulation model before the application of the phase change material on the double skin facade and after the application of the phase change material on the double skin facade.

Based on the analysis process, it is concluded that the application of phase change materials can increase indoor thermal comfort. The alternative double skin facade design with a phase change material has an average operating temperature change effect of up to 7.34% compared to a room without the use of phase change material.

Keywords: phase change material, double skin facade, indoor thermal comfort

IMPLEMENTASI PHASE CHANGE MATERIAL PADA DOUBLE SKIN FACADE SEBAGAI UPAYA MENCAPAI KENYAMANAN TERMAL RUANG DALAM BANGUNAN PADA KONTEKS KOTA BANDUNG

¹Laurensius Setiawan, ²Wulani Enggar Sari

¹Mahasiswa S1 Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan

²Dosen Pembimbing S1 Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan

Abstrak - Selubung bangunan menjadi salah satu elemen bangunan yang penting untuk menciptakan kenyamanan termal ruang dalam bangunan karena berinteraksi langsung dengan lingkungan di luar bangunan.

¹ Corresponding Author : rendylaw18@gmail.com

The Implementation of Phase Change Material at Double Skin Facade as an Effort to Aim Indoor Thermal Comfort at Bandung City Context

Double skin facade merupakan salah satu strategi rancangan selubung bangunan yang tidak hanya dapat digunakan sebagai bagian dari rancangan fasad bangunan tetapi juga bisa dimanfaatkan untuk meningkatkan kenyamanan termal ruang dalam bangunan.

Seiring perkembangan teknologi, rancangan *double skin facade* juga semakin beragam dan berkembang salah satunya dengan teknologi material yang digunakan. *Phase change material* merupakan teknologi material yang dapat diaplikasikan di berbagai elemen bangunan seperti selubung bangunan atau *double skin facade*. *Phase change material* merupakan material yang mempunyai kemampuan untuk melepaskan dan menyimpan energi panas laten. *Phase change material* memiliki kemampuan untuk berubah fasa dari cair menjadi padat maupun sebaliknya. Sebagian jenis *phase change material* memiliki karakter transparan yang dapat dimanfaatkan dan diaplikasikan pada elemen bangunan transparan seperti selubung bangunan atau *double skin facade* sebagai strategi untuk meningkatkan kenyamanan termal ruang dalam bangunan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aplikasi *phase change material* pada *double-skin facade* bangunan terhadap kenyamanan termal ruang dalam bangunan di Kota Bandung. *phase change material* sendiri merupakan material yang belum banyak diterapkan khususnya dalam dunia arsitektur sehingga penelitian perihal *phase change material* ini dapat menambah pengetahuan mengenai inovasi strategi mencapai kenyamanan termal ruang dalam pada bangunan.

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan metode eksperimental menggunakan simulasi digital. Eksperimen dengan simulasi digital dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Design Builder* dan *EnergyPlus*. Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi model simulasi sebelum aplikasi *phase change material* pada *double skin facade* dan setelah aplikasi *phase change material* pada *double skin facade*.

Berdasarkan proses analisis, diperoleh kesimpulan bahwa Aplikasi *phase change material* dapat meningkatkan kenyamanan termal ruang dalam bangunan. Alternatif rancangan *double skin facade* dengan *phase change material* memiliki pengaruh perubahan temperatur operatif rata-rata hingga sebesar 7,34% dibandingkan ruangan tanpa penggunaan *phase change material*.

Kata Kunci: *phase change material*, *double skin facade*, kenyamanan termal ruang dalam

1. PENDAHULUAN

Setiap manusia memerlukan wadah atau tempat untuk beraktivitas dan berteduh dari berbagai gangguan di luar ruangan misalnya cuaca atau iklim. Setiap aktivitas yang dilakukan di dalam ruangan, tentu saja mengharapkan nyaman termal dari ruangan tersebut agar aktivitas lebih nyaman dan optimal. Kenyamanan termal ruang dalam dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satu yang paling utama adalah selubung bangunan yang berinteraksi langsung dengan lingkungan di luar bangunan.

Selubung luar bangunan atau fasad bangunan perlu diberi perhatian khusus sehingga dapat membantu memaksimalkan kenyamanan termal ruang dalam. Bila mengacu pada buku *Climate-Responsive Design*, maka di masa kini desain bangunan atau fasad bangunan yang responsif atau adaptif terhadap perubahan cuaca menjadi hal yang baru dan harus dikembangkan untuk menanggapi isu lingkungan dan demi meningkatkan kualitas kenyamanan termal pada bangunan. Kenyamanan termal dapat ditingkatkan melalui keberhasilan rancangan selubung dan sistem bangunan (Holmes and Hecker, 2007).

Double skin facade merupakan salah satu upaya perancangan selubung bangunan untuk memaksimalkan kondisi termal ruang dalam bangunan. *Double skin facade* dapat menjadi pertimbangan dalam merancang wajah bangunan sekaligus dapat menjadi solusi untuk mengurangi radiasi matahari berlebih terhadap fasad bangunan. Seiring perkembangan teknologi, rancangan aplikasi *double skin facade* semakin beragam dan inovatif misalnya dalam hal teknologi material yang digunakan. Salah satu material yang menarik untuk digunakan sebagai upaya mencapai kenyamanan termal adalah penggunaan *phase change material* sebagai penyimpanan energi panas pada bangunan. *Phase change material* dapat diaplikasikan di berbagai elemen bangunan termasuk pada *double skin facade* dengan tetap menjalankan fungsinya menyimpan dan melepaskan energi panas.

Phase change material dapat berasal dari material organik seperti parafin, asam lemak, hingga gula alkohol. (Kosny et al, 2013). *Phase change material* juga dapat berasal dari material anorganik seperti logam atau garam hidrat. Sebagian *phase change material*

memiliki sifat yang transparan pada fasa cair dan *translucent* pada fasa padat, salah satunya adalah kalsium klorida hexahidrat yang digunakan pada penelitian ini. Material ini tergolong sebagai *Phase change material* anorganik garam hidrat. Sifat ini dapat dimanfaatkan dan diaplikasikan pada elemen bangunan transparan seperti selubung bangunan atau *double skin facade* sebagai strategi untuk meningkatkan kenyamanan termal ruang dalam bangunan.

Penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh *phase change material* yang diaplikasikan pada selubung bangunan yaitu *double skin facade* sebagai bagian dari strategi mencapai kenyamanan termal ruang dalam bangunan. Penelitian ini berusaha melakukan eksplorasi rancangan aplikasi *phase change material* pada *double skin facade* untuk menemukan pengaruh aplikasi *Phase change material* dan alternatif rancangan aplikasi *phase change material* pada *double skin facade* dalam upaya mencapai kenyamanan termal ruang dalam bangunan pada konteks Kota Bandung.

2. KAJIAN TEORI

2.1. Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal berdasarkan ASHRAE Standard 55 (2013) didefinisikan sebagai kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap kondisi termal lingkungan yang dievaluasi secara subjektif. Kenyamanan termal menurut B. Givoni (1998) didefinisikan sebagai suatu kondisi terciptanya keseimbangan termal yang cenderung tetap antara manusia dan lingkungannya.

Menurut Auliciems dan Szokolay (2007), kenyamanan termal dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, temperatur udara, radiasi, faktor subjektif seperti metabolisme, pakaian, makanan dan minuman, bentuk tubuh, dan usia serta jenis kelamin manusia. Menurut Fanger (1970), kondisi lingkungan termal dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan yaitu temperatur udara, kelembaban udara relatif, kecepatan aliran udara, dan temperatur permukaan.

Menurut Lippmeier, batas-batas kenyamanan manusia untuk daerah khatulistiwa adalah 20°C (batas bawah) hingga 26 °C (batas atas). Berdasarkan Standar Tata Cara perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan, batas atau standar kenyamanan termal adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Suhu Nyaman Berdasarkan Standar Tata Cara perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan

	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban (RH)
● Sejuk Nyaman	20,5 °C – 22,8 °C	50%
Ambang Batas	24 °C	80%
● Nyaman Optimal	22,8 °C – 25,8 °C	70%
Ambang Batas	28 °C	60%
● Hangat Nyaman	25,8 °C – 27,1 °C	
Ambang Batas	31 °C	

Sumber : Standar SNI-T-14-1993-03 Tata Cara perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan

2.2. Double Skin Facade

Double-skin facade merupakan lapisan struktur yang tersusun dari kulit luar bangunan yang umumnya menggunakan kaca, ruang antara (*cavity*), dan kulit bagian dalam bangunan yang umumnya juga menggunakan kaca. (J. Zhou dan Y. Chen dalam Ghasemi, 2017). *Double-skin facade* menurut Claessens dan Deherde dalam Poirazis (2004), merupakan tambahan selubung bangunan yang diaplikasikan diatas fasad awal. Tambahan fasad ini umumnya transparan. Ruang baru yang terbentuk antara kulit kedua dan kulit awal merupakan zona *buffer* yang berperan untuk menginsulasi bangunan.

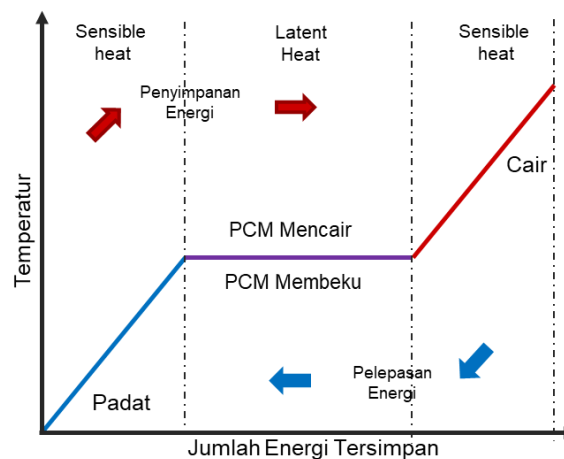
Double-skin Facade memiliki peranan besar pada eksterior bangunan karena mampu mempengaruhi pertimbangan dalam hal visual maupun performa kenyamanan termal ruang

dalam bangunan. Menurut Hendriksen et al. (2000) dalam Lim et al, 2018, transparansi merupakan aspek arsitektural yang sering diamati pada bagian eksterior lapis ganda karena berhubungan langsung dengan lingkungan luar. Hendriksen dan Sorensen (2004) dalam Eslamirad et al, 2016 menyatakan salah satu tujuan *double skin facade* adalah untuk mencapai kenyamanan ruang dalam bangunan dengan konsumsi energi yang masuk akal bagi bangunan.

2.3. Phase Change Material

Material Berubah fasa atau *Phase change materials* (PCM) adalah bahan yang mempunyai kemampuan untuk melepaskan dan menyimpan energi panas laten dalam jangka waktu relatif lama tanpa mengalami perubahan suhu (Meng Q., 2008). Perpindahan energi terjadi ketika bahan mengalami perubahan fasa atau bentuk. Perubahan fasa dapat terjadi dari bentuk padat ke cair maupun sebaliknya. Perubahan fasa dilakukan sebagai upaya dari bahan tersebut untuk menjaga atau mempertahankan temperaturnya. PCM merupakan material yang unik karena merupakan regulasi termal pasif yang tidak memerlukan tenaga penggerak dan dapat digunakan terus menerus.

Berbagai jenis *phase change material* memiliki karakter transparan ketika cair dan *translucent* ketika padat salah satunya adalah kalsium klorida hexahidrat yang digunakan pada penelitian ini. Sifat transparan dan *translucent* ini dapat dimanfaatkan sebagai elemen bangunan yang memerlukan material transparan seperti selubung bangunan atau bukaan bangunan. Perpindahan energi panas atau kalor terjadi pada *Phase change material* yang mengakibatkan bahan tersebut berubah fasa dari padat ke cair, cair ke padat, maupun berubah fasa ke gas. Kalor merupakan bentuk energi yang dapat dirasakan oleh manusia. Perpindahan energi yang terjadi pada Phase Change Material memerlukan media dimana media tersebut dapat berupa udara atau *liquid* yang dialirkan melalui pipa *duct* (Pasca, K.S., 2008). Pada penelitian ini digunakan PCM kalsium klorida hexahidrat.



Gambar 1. Grafik Hubungan Temperatur dan Jumlah Energi Tersimpan
Sumber :Ilustrasi Penulis

Kalsium klorida hexahidrat termasuk garam hidrat yang tergolong PCM non-organik. Material ini termasuk salah satu PCM tradisional yang awal diteliti kemampuan dan aplikasinya dalam menyerap dan melepaskan panas. $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ sebagai PCM direkomendasikan sebagai perangkat penyimpanan panas karena biaya yang relatif murah dan titik leleh yang sesuai, sehingga membuatnya cocok untuk menanggapi pemanasan ruang dan pemanfaatan panas matahari. (Bilen, K. et al 2008).

Tabel 2. Sifat-sifat Kalsium Klorida Hexahidrat

No	Sifat Material	Nilai	Satuan
1	Kerapatan (35 °C)	1470	Kg/m ³
3	Panas spesifik (cair)	2,1	kJ/kg.K
4	Panas spesifik (padat)	1,4	kJ/kg.K
5	Panas laten	140	kJ/kg
6	Konduktivitas termal		
	Cair	0,54	W/m. °C
	Padat	1,09	W/m. °C
7	Temperatur pelelehan	24	°C

Sumber : Tyagi V. V., Buddhi, D. 2008

2.4. Insulasi Panas

Insulasi panas merupakan material atau kombinasi dari berbagai material yang diaplikasikan untuk mempengaruhi pergerakan panas dan diadaptasi dalam berbagai ukuran, bentuk, dan permukaan. (Shukla dalam Deshmuk, 2017). Material insulasi melakukan proses mengisolasi panas untuk mengurangi perpindahan panas antara suatu sistem dengan lingkungannya. Insulasi banyak digunakan pada industri susu atau makanan untuk menghindari kehilangan panas maupun penambahan panas. (Bureau of Energy Efficiency, 2012). Pada penelitian ini jenis insulasi yang dibandingkan adalah insulasi kaca *double-glazed*.

3. METODE PENELITIAN

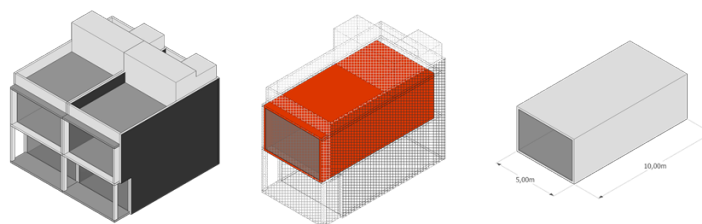
Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif eksperimental dengan menggunakan simulasi digital dengan menggunakan perangkat lunak *Design Builder* dan *EnergyPlus*. Menurut Kasiram (2008), penelitian kuantitatif merupakan proses menemukan pengetahuan dengan menggunakan data angka sebagai alat untuk menganalisis tentang apa yang ingin diketahui. Metode eksperimental termasuk metode penelitian kuantitatif. Menurut Fraenkel dan Wallen (2009), eksperimen berarti mencoba, mencari, dan mengkonfirmasi.

4. ANALISIS

Analisis data dilakukan untuk menyimpulkan hasil penelitian. Data hasil pengujian terhadap objek studi diuji dengan bantuan perangkat lunak. Pada tahap analisis ini terdapat beberapa kegiatan yang dilakukan yaitu:

4.1. Tahap I Perbandingan Kinerja Insulasi dan PCM

Tahap perbandingan membandingkan antara dampak aplikasi PCM dengan aplikasi insulasi terhadap kondisi kenyamanan termal ruang dalam bangunan untuk melihat bagaimana kedua material tersebut mempengaruhi kondisi ruang dalam dan mengetahui material mana yang memiliki pengaruh lebih baik. Insulasi termal yang dibandingkan adalah kaca *double-glazed* dengan lapisan PCM kalsium klorida hexahidrat, kedua material tersebut dibandingkan karena selain mampu menginsulasi panas keduanya juga memiliki sifat transparan yang bisa diaplikasikan pada *double skin facade*.



Gambar 2. Rancangan Alternatif I

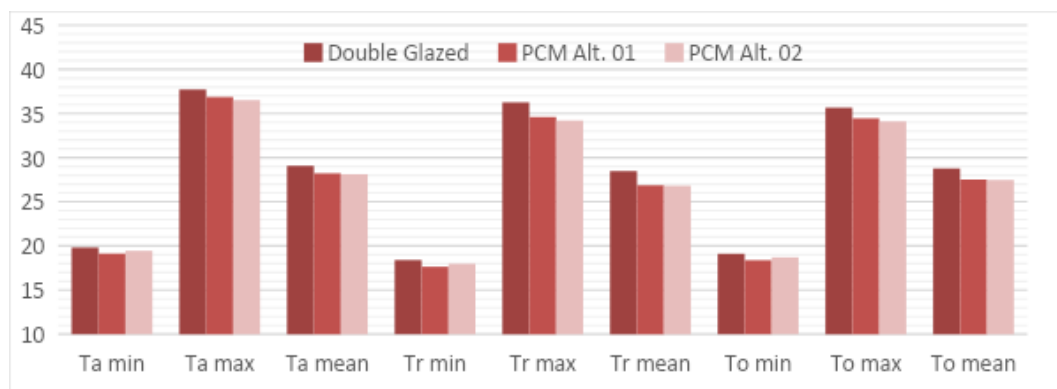
The Implementation of Phase Change Material at Double Skin Facade as an Effort to Aim Indoor Thermal Comfort at Bandung City Context

Model ruang yang diuji dipilih berdasarkan bentuk tipikal bangunan rumah toko (ruko) berukuran 5 x 10 m dengan tinggi 3,5 m. Bukaan terdapat pada salah satu sisinya yang menghadap ke timur. Bagian timur dan barat akan lebih sering disinari oleh matahari. Sisi timur akan banyak disinari sinar matahari mulai siang hingga sore hari. PCM diaplikasikan dalam kontainer-kontainer kaca di bagian fasad bangunan demikian pula dengan insulasi *double glazed* yang juga diaplikasikan di bagian fasad bangunan tersebut. Modul PCM merupakan container kaca berukuran 30 cm x 30 cm dengan ketebalan 4 cm.

Tabel 3. Perbandingan Kondisi Ruang Sepanjang Tahun

	Non-Insulasi	<i>Double-Glazed</i>	PCM Garam Hidrat
Temperatur udara (min) (°C)	20.31	19.30	19,42
Temperatur udara (max) (°C)	38.39	37.46	36,48
Temperatur udara (mean) (°C)	29.53	28.55	28,09
Temperatur radiasi (min) (°C)	19.04	17.90	17,98
Temperatur radiasi (max) (°C)	36.64	35.31	34,11
Temperatur radiasi (mean) (°C)	29.27	27.52	26,74
Temperatur Operatif (min) (°C)	19.67	18.60	18,70
Temperatur Operatif (max) (°C)	36.01	34.97	34,00
Temperatur Operatif (mean) (°C)	29.40	28.04	27,42

Diagram 1. Perbandingan Kondisi Ruang Sepanjang Tahun

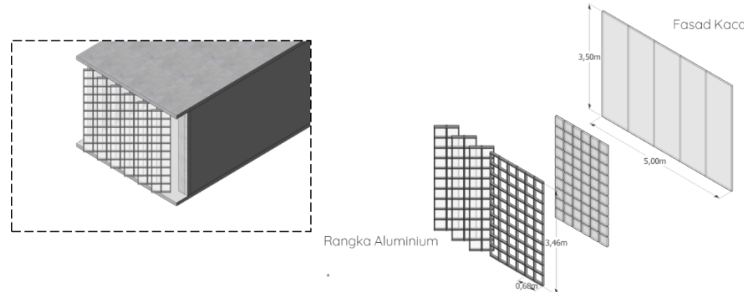


Penggunaan *Phase change material* (PCM) kalsium klorida hexahidrat secara garis besar memiliki pengaruh yang lebih signifikan daripada insulasi *double-glazed* pada model ruang pada tahap ini. Temperatur minimum PCM garam hidrat lebih tinggi daripada *double-glazed* sedangkan temperatur maksimum PCM garam hidrat lebih rendah dari *double-glazed* seperti terlihat pada table 3. Kondisi ini sejalan dengan penyerapan dan pelepasan panas oleh PCM. Ketika temperatur lingkungan rendah maka PCM akan cenderung melepaskan panas dan ketika temperatur tinggi akan cenderung menyimpan panas.

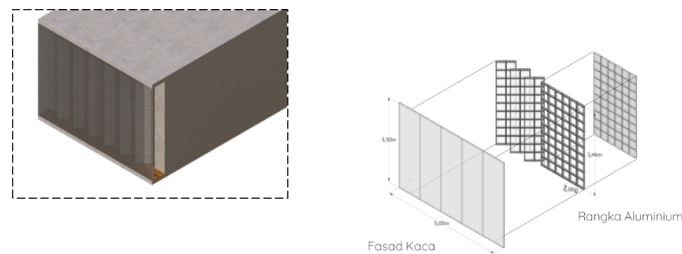
Berdasarkan pada tahap awal ini, perbandingan antara ruangan tanpa insulasi atau PCM dengan ruangan menggunakan insulasi dan menggunakan PCM dapat diambil

The Implementation of Phase Change Material at Double Skin Facade as an Effort to Aim Indoor Thermal Comfort at Bandung City Context

kesimpulan sementara bahwa ruangan dengan menggunakan lapisan PCM memiliki pengaruh yang lebih baik terhadap performa termal ruang dalam bangunan dibandingkan dengan ruangan tanpa insulasi atau PCM hingga 2,68%. Pengujian berikutnya dilakukan untuk kembali melihat perbandingan performa dari *double-glazed* dan lapisan PCM namun pada model ruang dengan *double skin façade* pada sisi bukaan.



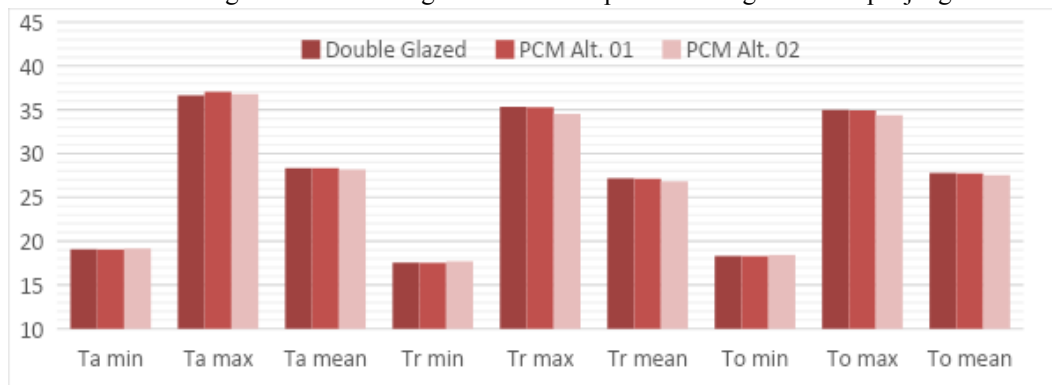
Gambar 3. Rancangan Alternatif I



Gambar 4. Rancangan Alternatif II

Alternatif I memposisikan lapisan PCM berada di lapisan luar DSF yang bersentuhan langsung dengan ruang dalam bangunan seperti pada gambar 3 sedangkan Alternatif II memposisikan lapisan PCM berada di lapisan luar DSF yang bersentuhan langsung dengan lingkungan luar bangunan seperti pada gambar 4.

Diagram 2. Perbandingan Kondisi Temperatur Ruang Dalam Sepanjang Tahun



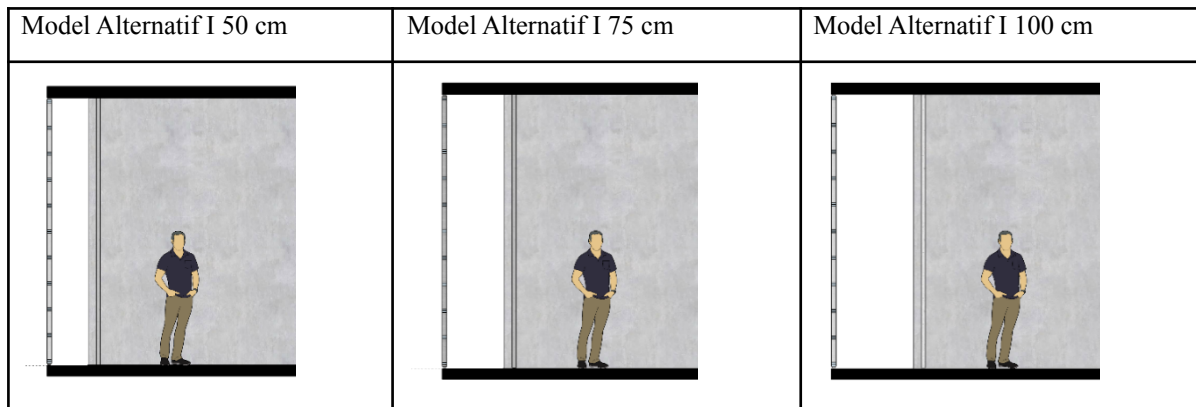
Hasil simulasi menunjukkan kinerja alternatif II yang memposisikan PCM dilapisan dalam lebih efektif daripada alternatif I yang memposisikan PCM dilapisan luar seperti terlihat pada diagram 2. Model alternatif I berikutnya akan digunakan pada tahap alternatif desain untuk dikembangkan dalam rangka menemukan alternatif aplikasi lapisan PCM yang lebih optimal.

4.2. Tahap II Pengujian Aplikasi DSF dengan PCM

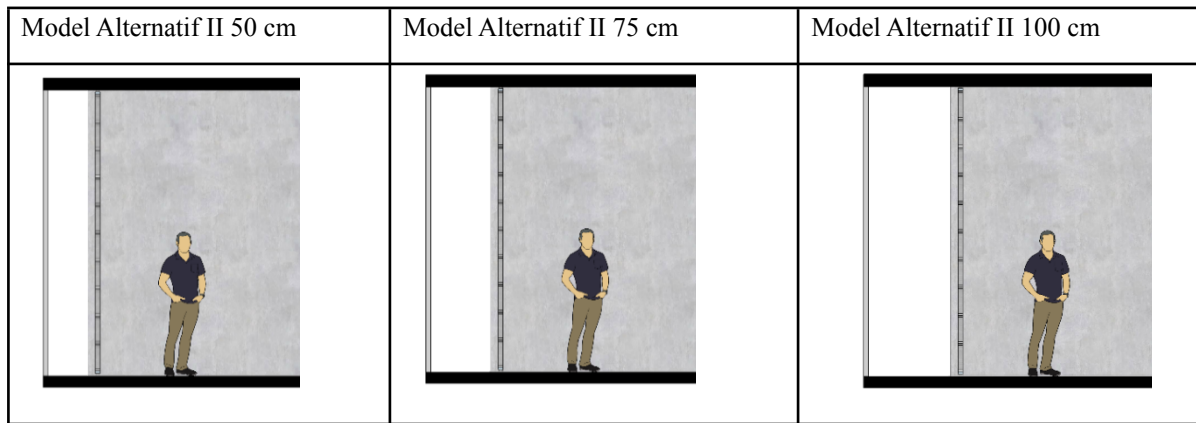
Tahap pengujian dilakukan untuk mendapatkan pengaruh aliran udara pada rongga udara *double skin facade* menggunakan PCM terhadap kondisi ruang dalam bangunan. Model

The Implementation of Phase Change Material at Double Skin Facade as an Effort to Aim Indoor Thermal Comfort at Bandung City Context

ruang yang digunakan pada tahap pengujian memiliki bentuk, material, dan ukuran yang sama dengan model ruangan pada tahap perbandingan namun sisi timur atau sisi bukaan bangunan menggunakan rancangan *double skin façade* yang diatur jarak rongga udaranya.



Gambar 5. Jarak Rongga Udara Alternatif I



Gambar 6. Jarak Rongga Udara Alternatif II

Model ruang diambil dari model ruang alternatif I dan II pada tahap I dengan melakukan pengaturan pada jarak rongga udara pada rancangan *double skin façade* dengan PCM. Jarak yang diuji adalah jarak 50 cm, 75 cm, dan 100 cm untuk menemukan pengaruh rancangan aliran udara pada ruang rongga DSF, jarak ini diambil dengan pertimbangan perawatan dan kelipatan penambahan jarak.

Tabel 4. Perbandingan Kondisi Ruang Alternatif I

	DSF 50 cm	DSF 75 cm	DSF 100 cm
Temperatur udara (min) (°C)	19.07	19.05	19.17
Temperatur udara (max) (°C)	36.65	37.03	36.81
Temperatur udara (mean) (°C)	28.35	28.33	28.18
Temperatur radiasi (min) (°C)	17.55	17.53	17.70
Temperatur radiasi (max) (°C)	35.33	35.26	34.51
Temperatur radiasi (mean) (°C)	27.18	27.14	26.84

The Implementation of Phase Change Material at Double Skin Facade as an Effort to Aim Indoor Thermal Comfort at Bandung City Context

Temperatur Operatif (min) (°C)	18.31	18.29	18.43
Temperatur Operatif (max) (°C)	34.98	34.93	34.36
Temperatur Operatif (mean) (°C)	27.77	27.73	27.51

Tabel 5. Perbandingan Kondisi Ruang Alternatif II

	DSF 50 cm	DSF 75 cm	DSF 100 cm
Temperatur udara (min) (°C)	19.71	19.71	19.71
Temperatur udara (max) (°C)	36.01	36.01	36.01
Temperatur udara (mean) (°C)	27.95	27.95	27.95
Temperatur radiasi (min) (°C)	18,23	18.23	18,23
Temperatur radiasi (max) (°C)	34.14	34.34	34.32
Temperatur radiasi (mean) (°C)	26.54	26.55	26.55
Temperatur Operatif (min) (°C)	18.97	18.97	18.97
Temperatur Operatif (max) (°C)	34.03	34.21	34.20
Temperatur Operatif (mean) (°C)	27.24	27.25	27.25

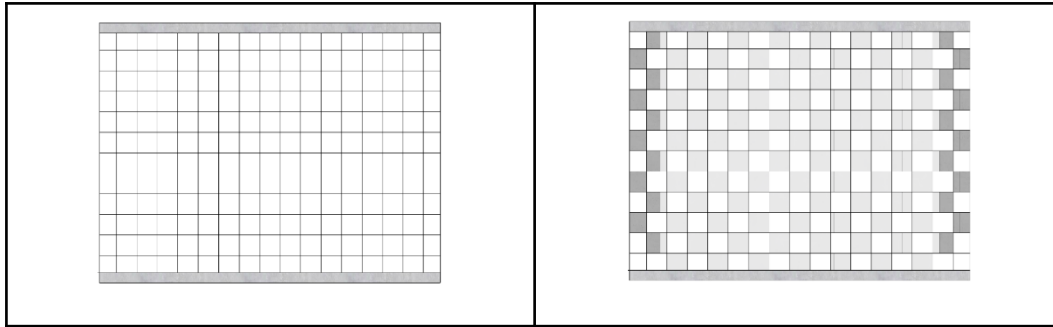
Perubahan jarak rongga udara yang terjadi tidak terlalu signifikan terhadap perubahan temperatur meskipun secara detail terlihat pada table 4 dan 5 kondisi ruang mengalami penurunan temperatur seiring bertambahnya jarak rongga udara. Bila dibandingkan antara alternatif I dan alternatif II, terjadi perbedaan temperatur dimana alternatif II menunjukkan performa yang lebih baik terhadap kondisi termal ruang dalam bangunan yaitu ketika PCM diaplikasikan pada lapisan dalam DSF.

4.3. Tahap III Alternatif Rancangan Aplikasi DSF dengan PCM

Tahap alternatif rancangan dilakukan untuk menemukan alternatif rancangan aplikasi PCM pada DSF berdasarkan temuan tahap I dan tahap II. Model ruang disesuaikan dengan rancangan aplikasi PCM. Tahap ini berhubungan dengan aplikasi PCM pada DSF secara arsitektural pada fasad bangunan sehingga dapat berguna untuk keperluan perancangan fasad bangunan. Berdasarkan data yang diperoleh melalui data pada tahap II yaitu pengujian aplikasi DSF dengan PCM, model ruang alternatif II memiliki performa yang lebih baik daripada model ruang alternatif I sehingga pada tahap ini, model ruang alternatif I dikembangkan dalam rangka menemukan alternatif aplikasi PCM yang lebih optimum pada *double skin facade*.

Model Alternatif I 100% fasad PCM	Model Alternatif I 50% fasad PCM
-----------------------------------	----------------------------------

The Implementation of Phase Change Material at Double Skin Facade as an Effort to Aim Indoor Thermal Comfort at Bandung City Context



Gambar 7. Fasad Alternatif

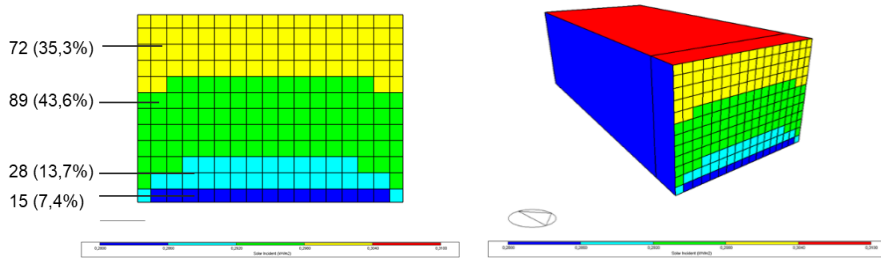
Tahap ketiga diawali dengan melakukan simulasi kondisi ruang dalam pada model ruang alternatif I dari tahap kedua dimana PCM diposisikan pada lapisan luar DSF. Pengujian dilakukan pada dua kondisi yaitu kondisi fasad 100% ditutupi oleh modul PCM dan 50% ditutupi oleh PCM dengan jarak rongga udara keduanya 100 cm. Kondisi 50% merupakan pertimbangan aspek arsitektural dimana ketika persentase PCM dan kaca adalah 50% maka pola-pola pada fasad dapat dibentuk dengan memanfaatkan perubahan fasa yang terjadi karena ketika fasa solid, modul PCM menjadi *translucent*. Kondisi 50% juga memiliki visibilitas yang lebih tinggi mengingat jumlah modul kaca yang lebih banyak.

Tabel 6. Perbandingan Kondisi Ruang Alternatif I 100% dan 50%

	DSF non-PCM	DSF 100%	DSF 50%
Temperatur udara (min) (°C)	19.81	19.17	19.43
Temperatur udara (max) (°C)	37.71	36.81	37.37
Temperatur udara (mean) (°C)	29.09	28.18	28.71
Temperatur radiasi (min) (°C)	18.40	17.70	17.98
Temperatur radiasi (max) (°C)	36.23	34.51	35.74
Temperatur radiasi (mean) (°C)	28.48	26.84	27.81
Temperatur Operatif (min) (°C)	19.11	18.43	18.70
Temperatur Operatif (max) (°C)	35.65	34.36	35.29
Temperatur Operatif (mean) (°C)	28.78	27.51	28.26

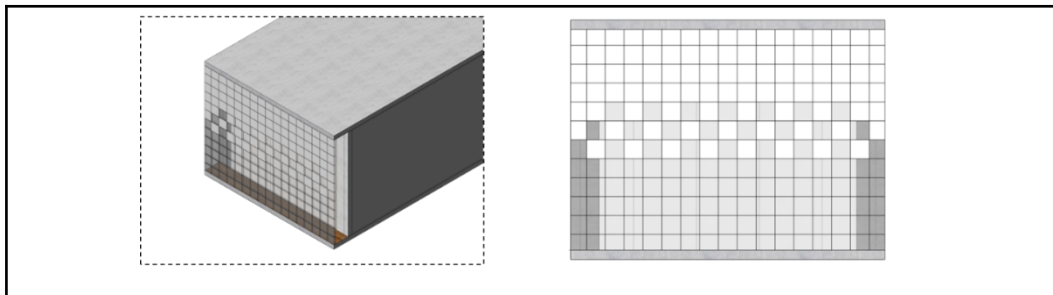
Perbandingan Alternatif I dengan porsi 50% PCM dengan alternatif I dengan porsi 100% PCM memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan seperti terlihat pada angka-angka di tabel 6. DSF alternatif I dengan porsi 100% PCM memiliki performa yang lebih baik dalam mengurangi beban termal pada ruang dalam namun bila dilihat berdasarkan standar kenyamanan termal, baik DSF 100% dan 50% keduanya masih tergolong di ambang batas nyaman optimal yaitu pada kisaran 28°C sehingga dengan perubahan yang tidak terlalu signifikan ini, DSF dengan porsi 50% bisa lebih menguntungkan untuk diaplikasikan dengan pertimbangan bahan yang diperlukan dan aspek visibilitas.

The Implementation of Phase Change Material at Double Skin Facade as an Effort to Aim Indoor Thermal Comfort at Bandung City Context



Gambar 8. Kondisi Paparan Sinar Matahari pada Modul Kontainer Fasad

Tahapan berikutnya adalah pengembangan model alternatif lain dengan membuat alternatif kedua berdasarkan sumber panas dimana model ruang alternatif II ini diperoleh dengan memetakan area permukaan fasad pada kulit luar *double skin facade* untuk melihat bagian mana yang lebih sering disinari matahari atau memiliki suhu yang lebih tinggi. Diibaratkan seluruh fasad tersusun atas modul-modul kontainer PCM 30 x 30 cm dengan ketebalan 4 cm agar pembagian area bisa terlihat dengan jelas. Secara garis besar fasad terbagi atas 4 bagian dengan area berwarna kuning sebagai area yang paling sering terpapar panas matahari dan warna biru tua yang paling jarang. Fasad akan diisi oleh 50% modul PCM dan 50% *glazing* namun dengan proporsi modul PCM dipusatkan pada kawasan kuning dan selebihnya terisi pada kawasan hijau berdasarkan pada gambar 8.



Gambar 9. Fasad alternatif II

Tabel 7. Perbandingan Kondisi Ruang Alternatif I dan II

	Alternatif I	Alternatif II
Temperatur udara (min) (°C)	19.49	19.51
Temperatur udara (max) (°C)	37.24	37.30
Temperatur udara (mean) (°C)	28.61	28.65
Temperatur radiasi (min) (°C)	18.05	18.08
Temperatur radiasi (max) (°C)	35.30	35,40
Temperatur radiasi (mean) (°C)	27.62	27.70
Temperatur Operatif (min) (°C)	18.77	18.79
Temperatur Operatif (max) (°C)	34.96	35,03
Temperatur Operatif (mean) (°C)	28.12	28,18

The Implementation of Phase Change Material at Double Skin Facade as an Effort to Aim Indoor Thermal Comfort at Bandung City Context

Alternatif I maupun alternatif II tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, namun bila dilihat lebih detail melalui tabel 7, terjadi penambahan temperatur pada alternatif II sehingga dapat disimpulkan alternatif I memiliki kinerja yang lebih baik. Baik alternatif I maupun II keduanya dapat membuat kondisi ruangan menjadi lebih baik dari ruangan tanpa aplikasi PCM sehingga dengan memposisikan PCM pada area yang lebih panas pada fasad bangunan dapat menjadi salah satu strategi aplikasi PCM yang baik.

Diagram 3. Perbandingan Kondisi Temperatur Ruang Dalam Hari Terdingin

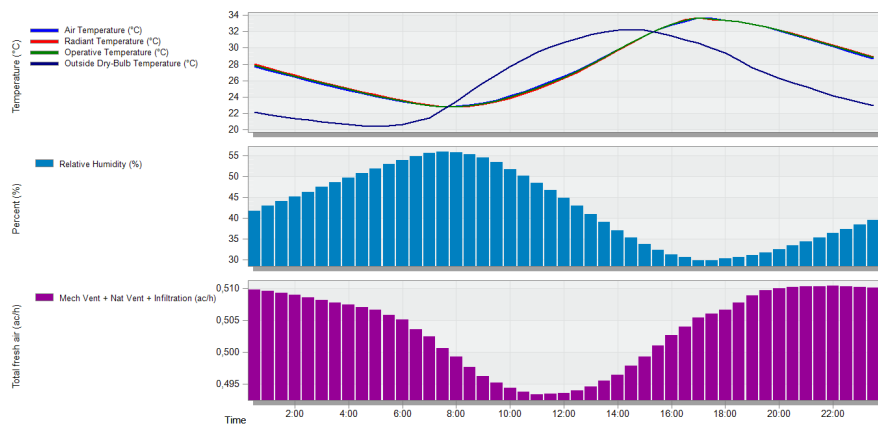
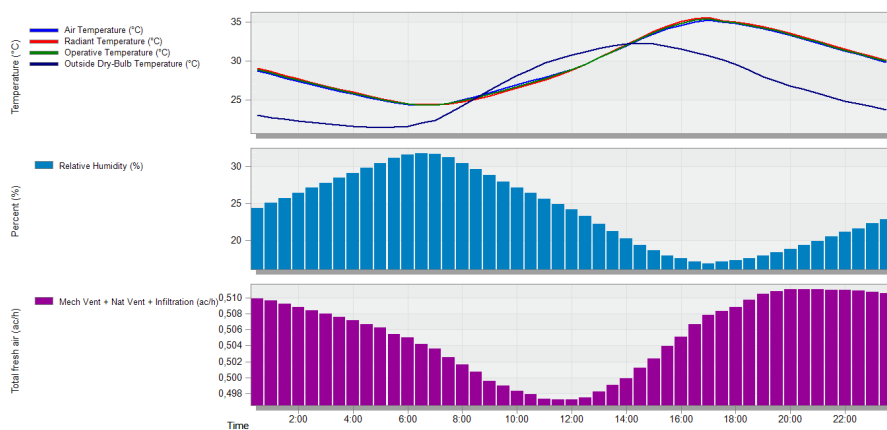


Diagram 4. Perbandingan Kondisi Temperatur Ruang Dalam Hari Terpanas



5. KESIMPULAN

Gambar 10. Alternatif Aplikasi PCM

DSF non-PCM	Alternatif Tahap I-II	Alternatif Tahap III

The Implementation of Phase Change Material at Double Skin Facade as an Effort to Aim Indoor Thermal Comfort at Bandung City Context

Aplikasi PCM dapat digunakan sebagai strategi untuk meningkatkan kenyamanan termal ruang dalam bangunan karena kemampuannya mengurangi suhu siang hari dan meningkatkan suhu di malam hari, terlihat dari perubahan kondisi termal yang terjadi. Temperatur minimum cenderung naik dan temperatur maksimum cenderung turun, sehingga membuat kinerjanya lebih baik dari insulasi *double-glazed* pada kondisi dingin maupun panas sebesar 2,68%. Setidaknya terdapat 2 alternatif terbaik dari setiap tahap penelitian aplikasi PCM pada DSF pada penelitian ini seperti pada gambar 10.

Tabel 8. Perbandingan Kondisi Aplikasi Alternatif

	DSF non-PCM	Insulasi	Tahap I-II	Tahap III
Temperatur udara (min) (°C)	20.31	19.46	19.71	19.49
Temperatur udara (max) (°C)	38.39	37.38	36.01	37.24
Temperatur udara (mean) (°C)	29.53	28.72	27.95	28.61
Temperatur radiasi (min) (°C)	19.04	17.96	18,23	18.03
Temperatur radiasi (max) (°C)	36.64	35.63	34.14	35.45
Temperatur radiasi (mean) (°C)	29.27	27.78	26.54	27.71
Temperatur Operatif (min) (°C)	19.67	18.71	18.97	18.75
Temperatur Operatif (max) (°C)	36.01	35.22	34.03	35.07
Temperatur Operatif (mean) (°C)	29.40	28.25	27.24	28.19

Setiap alternatif rancangan aplikasi PCM menunjukkan perubahan kondisi ruangan dibandingkan dengan kondisi sebelum penggunaan PCM. Terlihat pada tabel 8, Alternatif II pada tahap II memiliki pengaruh yang optimal dengan meletakkan PCM dilapisan dalam DSF yang berhubungan langsung dengan ruang dalam bangunan dengan perubahan temperatur operatif rata-rata sebesar 7,34% dari kondisi ruangan tanpa menggunakan DSF PCM. Alternatif tahap III memiliki pengaruh yang juga efektif dengan mengaplikasikan fasad kaca untuk mengoptimalkan potensi visual dengan perubahan temperatur operatif rata-rata sebesar 4,11% dibandingkan ruangan tanpa penggunaan DSF PCM. Kondisi termal ruangan pasca penggunaan PCM cenderung lebih baik namun perubahan yang terjadi belum mampu membuat kondisi ruang dalam berada pada temperatur yang nyaman optimal yaitu pada kisaran 22,8 °C – 25,8 °C. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan aplikasi PCM dapat menjadi strategi untuk meningkatkan kenyamanan termal ruang dalam bangunan, kinerja DSF PCM cenderung lebih efektif dibandingkan DSF dengan insulasi *double-glazed*, dan PCM dapat optimum diaplikasikan pada bagian dalam lapisan DSF serta alternatif aplikasi PCM pada fasad dapat dilakukan dengan mengkombinasikan antara fasad PCM dengan kaca seperti pada alternatif III dengan tetap memiliki dampak terhadap kondisi ruang dalam atau dengan meletakkan lapisan PCM pada area yang panas.

Saran

Rancangan aplikasi PCM pada *double skin facade* dapat dikembangkan dengan berbagai alternatif bentuk yang lebih variatif. Kondisi lingkungan yang berbeda juga dapat

menghasilkan ragam alternatif yang berbeda pula. Penelitian menggunakan eksperimen langsung bisa dilakukan untuk mendapatkan pertimbangan hasil atau pembandingan dengan percobaan yang dilakukan menggunakan simulasi digital *design builder* ini. Pengembangan penelitian aplikasi PCM pada elemen-elemen bangunan lain juga harus dikembangkan khususnya dalam hal varian desain yang menyangkut aspek arsitektural.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. (2013). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Standard 55-2013. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, USA.
- Auliciems, A. and Szokolay, S. (2007) *Thermal Comfort. 2nd Revised Edition, Brisbane, PLEA: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture*, The University of Queensland.
- de Dear, R.J. and Brager, G.S. (1998) *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference*. ASHRAE Transactions, 104, 145-167.
- Eslamirad, N. Sanei, A., (2016). *Double Skin Facades in Use, A Study of Configuration and Performance of Double Skin Façade, Case Studies some Office Buildings*. Jurnal International Conference on Research in Science and Technology Istanbul-Turkey 2016.
- Faggal, A. A., (2014). *Double Skin Façade Effect on Thermal Comfort and Energy Consumption in Office Buildings*. Departemen of Architecture, Ain Shams University
- Fanger, P.O. (1970). *Thermal Comfort. Danish Technical Press*. Copenhagen.
- Fanger, P.O. (1982). *Thermal Comfort*. Florida: Robert E. Krieger Publishing Company
- Fanger, P.O. (1986). *Thermal Comfort – Human Requirements*. Denmark : Technical University of Denmark
- Fraenkel, Jack R. & Wallen, N.E. (2009). *How to Design and Evaluate Research in Education*. New York. McGraw-Hill Companies.
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Buildings and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold, the USA.
- Hoppe, P. (2002). Different Aspects of Assessing of Indoor & Outdoor Thermal Comfort, *Journal: Energy and Buildings 34, Elsevier Science*, www.elsevier.com/locate/enbuild
- Kasiram, M. (2008). *Metodologi Penelitian*. Malang: UIN-Malang Pers.
- Kumar N., Banerjee D. (2018). Phase Change Materials. In: Kulacki F. (eds) *Handbook of Thermal Science and Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26695-4_53
- Kurnia, R., Effendy, S., Tursilowati, L., (2010). Identifikasi Kenyamanan Termal Bangunan (Studi Kasus: Ruang Kuliah Kampus Ipb Baranangsiang Dan Darmaga Bogor). *Jurnal Agromet 24 (I) : 14-22*, 2010.
- Kushelieva, D., (2014). Double Skin Facades. <https://issuu.com/desikushelieva/docs/doubleskinfacades>. Diakses pada 11 Juni 2021.
- Kosny, J., Shukla, N., Fallahi, A., (2013). Cost Analysis of Simple Phase Change Material-Enhanced Building Envelopes in Southern US Climates. *National Renewable Energy Lab. (NREL)*, Golden, CO (United State), Januari 2013.
- Lakitan., B. (1994). *Dasar-dasar Klimatologi*. Jakarta : Raja Grafindo Persada.
- Lim, Y., Ismail, M. R., (2018). Efficacy of Double Skin Façade on Energy Consumption in Office Buildings in Phnom Penh City. *International Transaction journal of Engineering, Management, & Applied Science & Technologies* 2018.
- Lippsmeier, Georg. (1994), *Bangunan Tropis*. (diterjemahkan oleh Syahmir N.), Jakarta: Erlangga.
- Nieuwolt S. (1977). *Tropical climatology*. London: Wiley;
- Parsons, K.C. (1993), *Human Thermal Environments*, Taylor & Francis, London, UK.

The Implementation of Phase Change Material at Double Skin Facade as an Effort to Aim Indoor Thermal Comfort at Bandung City Context

- Poirazis, H., (2004). *Double Skin Facades for Office Buildings*. Department of Construction and Architecture, Lund Institute of Technology, Lund University
- Riansyaputra, D., (2020). *Penggunaan Material Fasa Berubah pada Partisi untuk Aplikasi Ruang Sejuk*. Disertasi tidak diterbitkan. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Sharma,A., Tyagi,V.V., Chen,C.R. dan Buddhi,D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change material and applications. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13, 318-345.
- Standar Nasional Indonesia, *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara Pada Bangunan Gedung (SNI 03-6572-2001)*. Badan Standardisasi Nasional, 2001.
- Streicher W, Heimrath R, Hengsberger H, et al. (2006). State of the Art of Double Skin Facades in Europe: The results of WP1 of the BESTFAC, *ADE Project. AIVC 27th Conference - Lyon, France*, 20-22 November 2006.
- Talarosha, B., (2005). Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 6(3).
- Widya Arisya Putri, I. M. Sutjahja, D. Kurnia, S. Wonorahardjo. (2015). Potensi Minyak Kelapa sebagai Media Penyimpan Kalor Laten (Studi Kasus: Analisa Lepas Kalor pada Proses Solidifikasi). *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains 2015 (SNIPS 2015)* 8 dan 9 Juni 2015, Bandung, Indonesia.
- Zhang T., Tan Y., Yang H. Zhang x., (2016). The application of air layers in building envelopes: A review. *Applied Energy*, 165, 707-734. Diakses tanggal 30 juni 2021 dari <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.108>