

ANALISIS MASSA TERMAL OPTIMUM UNTUK BANGUNAN TROPIS MENGUNAKAN *PHASE CHANGE MATERIAL* (PCM)

ANALYSIS OF OPTIMUM THERMAL MASS FOR TROPICAL BUILDING USING PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)

Dayanna Zannatul Umah¹, Dr. Eng. Amaliyah R. I. U.², Dr. Edy Wibowo, S.Si., M.Sc.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

dzannatul@gmail.com¹, Amaliyahriu@telkomuniversity.ac.id², edb.tel@gmail.com³

Abstrak

Telah dilakukan simulasi kenyamanan termal pada bangunan tropis dengan mengidentifikasi suhu dalam bangunan, untuk menentukan nilai massa termal optimum dan *phase change material* (PCM) pada material bata dan beton. Simulasi dilakukan menggunakan *software EnergyPlus*. Dari hasil simulasi, diperoleh massa termal optimum material bata dan beton adalah 480,0 kJ dan 386,3 kJ. Adapun nilai PCM pada material bata dan beton adalah 2 kg dan 1,6 kg. Hasil dari penelitian menunjukkan, semakin besar nilai massa termal optimum dan PCM akan menghasilkan suhu dalam bangunan semakin rendah.

Kata Kunci: Bangunan Tropis, Kenyamanan Termal, Massa Termal Optimum, *Phase Change Material* (PCM).

Abstract

Thermal comfort simulations have been carried out in tropical buildings by identifying temperatures in buildings, to determine the optimum thermal mass value and phase change material (PCM) on brick and concrete materials. The simulation is done using EnergyPlus software. From the simulation results, the optimum thermal mass of brick and concrete materials is 480.0 kJ and 386.3 kJ. The PCM value in brick and concrete material is 2 kg and 1.6 kg. The results of the study showed that the greater the optimum thermal mass value and PCM, the lower the temperature in the building.

Keywords: Tropical Buildings, Thermal Comfort, Optimum Thermal Mass, *Phase Change Material* (PCM).

1. Pendahuluan

Bangunan adalah kumpulan beberapa sistem yang saling berhubungan untuk menyediakan ruangan, dengan kondisi optimum agar penghuni yang berada di dalam bisa produktif[1]. Oleh karena itu, diperlukan sebuah mekanisme untuk fluktuasi temperatur dalam bangunan agar lebih stabil, dengan cara merancang bangunan dengan memperhatikan massa termal pada konstruksi sehingga dapat menghasilkan massa termal optimum pada bangunan. Massa termal menggambarkan kemampuan suatu material untuk menyerap, menyimpan dan melepaskan energi panas [2]. Menyerap panas karena suhu lingkungan tinggi dan melepaskannya saat suhu lingkungan rendah. Massa termal optimum yaitu ketika massa termal ditambahkan ketebalannya dengan material yang sama maka akan mengalami perubahan suhu sampai dengan titik optimumnya, ketika sudah mencapai titik optimumnya penambahan massa termal tidak akan mempengaruhi perubahan suhu [1]. Dimana *heat gain* merupakan peningkatan suhu ketika mendapatkan panas oleh radiasi atau konduksi dari sumber luar. Bangunan yang dibangun dengan material sesuai dengan karakteristik iklim setempat, dapat menghasilkan massa termal dengan kondisi optimum pada bangunan. Dimana bangunan dengan massa termal optimum merupakan bangunan yang massa termalnya sesuai dengan *heat gain*.

Parameter yang menjadikan bangunan tersebut dikatakan bangunan dengan massa termal optimum yaitu potensi suatu bangunan yang dapat menyerap panas atau kalor dengan memerhatikan *Heat Capacity*, *Thermal Diffusivity*, Waktu termal dan Ketebalan suatu material. Tidak menutup kemungkinan bangunan dengan kondisi tersebut masih menggunakan *cooling* untuk menjaga kenyamanan termal. Ada hal lain yang dapat dilakukan untuk mengatasi penggunaan *cooling* yaitu dengan menambahkan *Phase Change Material* (PCM) pada selubung masing-masing ruangan. PCM merupakan suatu material yang dapat berubah fasa pada temperature tertentu tergantung dari material, selain itu PCM juga merupakan salah satu teknologi penyimpanan energi. Penyimpanan

kalor pada PCM memiliki keunggulan pada kepadatan material dikarenakan *heat of fusion* pada proses peleburan jauh lebih besar daripada kalor sensible atau panas spesifiknya[4]. Dengan *Heat of Fusion* merupakan energi yang diperlukan untuk mengubah satu gram zat padat ke zat cair tanpa mengubah suhu.

2. Dasar Teori

2.1 Massa Termal

Massa termal adalah istilah yang menggambarkan kemampuan suatu material untuk menyerap, menyimpan dan melepaskan energi panas. Massa termal dapat digunakan untuk meratakan variasi kondisi internal dan eksternal, menyerap panas karena suhu lingkungan naik dan melepaskannya karena suhu lingkungan turun. Dalam desain bangunan, ini sangat berguna untuk malam hari dan menunda suhu ekstrem dalam kondisi termal, menstabilkan lingkungan internal dan mengurangi kebutuhan energi untuk bangunan [5]. Massa termal optimum yaitu ketika massa termal ditambahkan ketebalannya dengan material yang sama maka akan mengalami perubahan suhu sampai dengan titik optimumnya, ketika sudah mencapai titik optimumnya penambahan massa termal tidak akan mempengaruhi perubahan suhu [1].

2.2 Kelembapan Udara

2.2.1 Heat Capacity

Heat Capacity atau Kapasitas Panas (HC) merupakan salah satu parameter untuk menunjukkan seberapa besar kapasitas suatu material atau bahan untuk menampung panas[6]. Dirumuskan sebagai berikut;

$$HC = L \times \rho \times c \quad (2-1)$$

Dinamika HC adalah Kapasitas panas (J/m^2K), L merupakan ketebalan dinding, c adalah kapasitas panas spesifik (J/KgK) dan ρ merupakan massa jenis material (Kg/m^3)

2.2.2 Thermal Diffusivity

Thermal Diffusivity (α) adalah indikasi kecepatan temperatur untuk melalui ketebalan suatu dinding [6]. Dirumuskan sebagai berikut

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad (2-2)$$

Dimana $\alpha =$ *Thermal diffusivity* (m^2/s), k = Konduktivitas termal (W/mK), $\rho =$ Massa jenis (kg/m^3), c = Kapasitas panas spesifik (J/kgK)

2.2.3 Waktu Termal

Waktu termal (t) adalah waktu yang diperlukan selubung untuk mencapai kondisi *steady state ratio*. Dimana kondisi yang dimaksud yaitu tidak ada perbedaan suhu antara permukaan luar selubung maupun permukaan dalam selubung[6]. Dirumuskan dengan:

$$t = \frac{L^2}{\alpha} \quad (2-3)$$

Dengan t = Waktu (s), L = Ketebalan dinding bangunan (m), $\alpha =$ *Thermal diffusivity* (m^2/s)

2.2.4 Potensi Bangunan untuk Menangkap Panas

Suatu bangunan dapat memiliki massa termal optimum dapat dilihat dari potensi bangunan tersebut untuk menangkap dan menyerap panas, massa termal optimum merupakan kemampuan suatu material untuk menyerap, menyimpan dan melepaskan energi panas, yang dimana ketika semakin ditambahkan ketebalan suatu material tersebut maka akan mengalami perubahan suhu sampai dengan titik optimumnya, ketika sudah mencapai titik optimumnya penambahan massa termal tidak akan mempengaruhi perubahan suhu. Untuk mengetahui massa termal optimum pada bangunan perlu mencari potensi bangunan untuk menangkap panas dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q = HC \times \alpha \times t \quad (2-4)$$

Dimana Q = Potensi bangunan untuk menangkap panas (Joule), HC = Kapasitas Panas (J/m^2K), $\alpha =$ *Thermal diffusivity* (m^2/s), t = waktu termal (s)

2.3 Phase Change Material (PCM)

Phase Change Material (PCM) adalah suatu material yang dapat berubah fasa pada temperature tertentu tergantung pada material. PCM juga merupakan salah satu teknologi penyimpanan energi. Penyimpanan kalor pada PCM memiliki keunggulan pada kepadatan material dikarenakan kalor latent pada proses peleburan jauh lebih besar daripada kalor sensible atau panas spesifiknya.[4]. Dalam penyimpanan panas, sistem LTES

memanfaatkan sejumlah penyimpanan kalor sensible yang terletak diatas dan dibawah temperatur lebur dari PCM. Persamaan dari PCM untuk menyimpan panas dirumuskan dengan:

$$Q = m \times L \quad (2-5)$$

Dimana: Q = Kalor Sensibel (J), m = massa material PCM (Kg), L = Kalor Lebur (J/Kg)

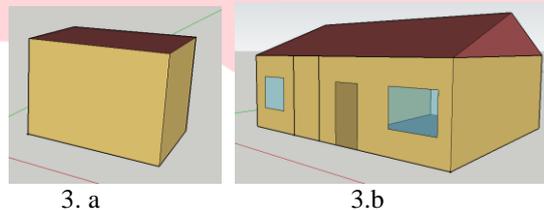
2.4 EnergyPlus

EnergyPlus adalah program berbasis konsol yang membaca *input* dan menulis *output* ke file teks. Beberapa antarmuka grafis yang komprehensif untuk EnergyPlus juga tersedia[9]. EnergyPlus merupakan program energi keseluruhan bangunan yang biasa digunakan oleh para insinyur, arsitek, dan peneliti untuk memodelkan konsumsi energi pemanasan, pendinginan, ventilasi, pencahayaan, dan proses penggunaan air di gedung-gedung.

3. Metodologi

Penelitian ini dibagi menjadi dua bagian penelitian yaitu Pertama dalam penelitian ini yaitu melakukan simulasi dan perhitungan parameter massa termal pada model bangunan yang telah dirancang untuk mengetahui parameter massa termal optimum yang digunakan didaerah tropis, dengan menggunakan data temperature (kota Jakarta). Luaran simulasi pertama adalah temperatur *maximum* dan beban pendinginan *maximum* setiap kombinasi bangunan. Penelitian selanjutnya yaitu menganalisis hasil simulasi PCM, dimana bertujuan untuk mengetahui berapa banyak PCM yang dapat digunakan pada bangunan di daerah tropis dengan massa termal optimum.

3.1 Pemodelan dan simulasi



Gambar 3.a. bangunan kotak, gambar 3.b. bangunan rumah

Model bangunan yang terdiri dari 1 lantai dengan tinggi 3 m. Konstruksi selubung bangunan untuk lantai, atap, dan dinding disamakan. Kombinasi material yang digunakan pada simulasi yaitu Bata dan Beton dengan data konstruksi dan konstruksi PCM yang digunakan, sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik Termal Selubung

Karakteristik material	Bata	Beton
Konduktivitas (W/mK)	0.89	1.11
Massa Jenis [Kg/m ³]	1920	800
Specific Heat [J/kgK]	800	920

Tabel 2. Karakteristik Termal Kaca

Jenis kaca	U (W/m ² .K)	SHGC	Visible transmission
Simple Glazing Glass	5	0.8	0.8

Tabel 3. Karakteristik PCM

Karakteristik PCM	
Melting Point (°C)	25
Konduktivitas (W/mK)	2.15
Massa Jenis [Kg/m ³]	1330
Specific Heat [J/kgK]	4040

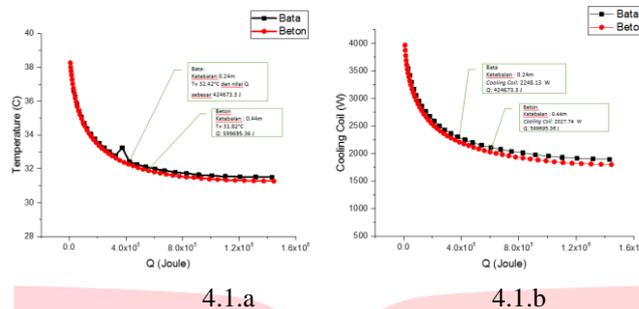
4. Analisis dan Hasil

4.1 Massa termal dan banyak PCM pada Bangunan Kotak

Hasil dari penelitian untuk mengetahui massa termal optimum pada bangunan kotak yang tidak menggunakan AC dan bangunan yang menggunakan AC di daerah tropis menggunakan *weather data* Jakarta dapat menggunakan persamaan

$$\text{Massa Termal Optimum} = -\frac{dT}{dQ} \quad (4-1)$$

Jika nilai Q nya bertambah besar maka perubahan pada temperaturenya semakin kecil dan perubahan suhu dengan nilai temperature yang kecil dapat dikatakan bahwa nilai tersebut merupakan titik optimumnya. Dari simulasi yang telah dilakukan untuk mendapatkan hasil massa termal optimum pada bangunan tropis dengan ketebalan bangunan dari 0.1m-0.36m untuk material bata dan 0.1m-0.59m untuk material beton dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.1.a Persamaan Massa Termal Optimum pada bangunan tidak menggunakan AC, gambar 4.1.b. Persamaan Massa Termal Optimum pada bangunan menggunakan AC

Pada gambar 4.a dan gambar 4.b. dimana material bata memiliki massa termal optimum pada ketebalan 0.24m dengan temperature 32.42°C, cooling load 2248.13 W dan nilai Q sebesar 424673.3 J hasil tersebut disimpulkan dengan menggunakan persamaan 4-1, untuk mengetahui berapa banyak PCM pada bangunan dengan massa termal optimum menggunakan persamaan 2-5 memperoleh hasil $m = 1.7$ kg dengan nilai kalor lebur pada PCM yaitu 250000 J/Kg. Sedangkan untuk material beton memiliki massa termal optimum pada ketebalan 0.44 dengan temperature 31.82°C, cooling load 2027.74 W dan nilai Q sebesar 599695.36 J hasil tersebut disimpulkan dengan menggunakan persamaan 4-1, untuk mengetahui berapa banyak PCM pada bangunan dengan massa termal optimum menggunakan persamaan 2-5 memperoleh hasil $m = 2.4$ kg dengan nilai kalor lebur pada PCM yaitu 250000 J/Kg. Dari hasil penelitian untuk mengetahui PCM pada bangunan dengan massa termal optimum dilakukan simulasi pada masing-masing case dengan massa yang berbeda yaitu, untuk bangunan yang tidak menggunakan AC, sebagai berikut.

Jakarta	Bata	Beton	Jakarta	Bata	Beton
case 1	32.71°C	31.91°C	case 1	2245.66 W	2031.96 W
case 2	32.61°C	31.9°C	case 2	2238.33 W	2015.73 W
case 3	32.42°C	31.81°C	case 3	2253.72 W	2025.57 W
case 4	32.67°C	31.64°C	case 4	2248.43 W	2015.07 W

4.2.a 4.2.b

Gambar 4.2.a Hasil penelitian PCM pada bangunan tidak menggunakan AC, gambar 4.2.b Hasil penelitian PCM pada bangunan menggunakan AC

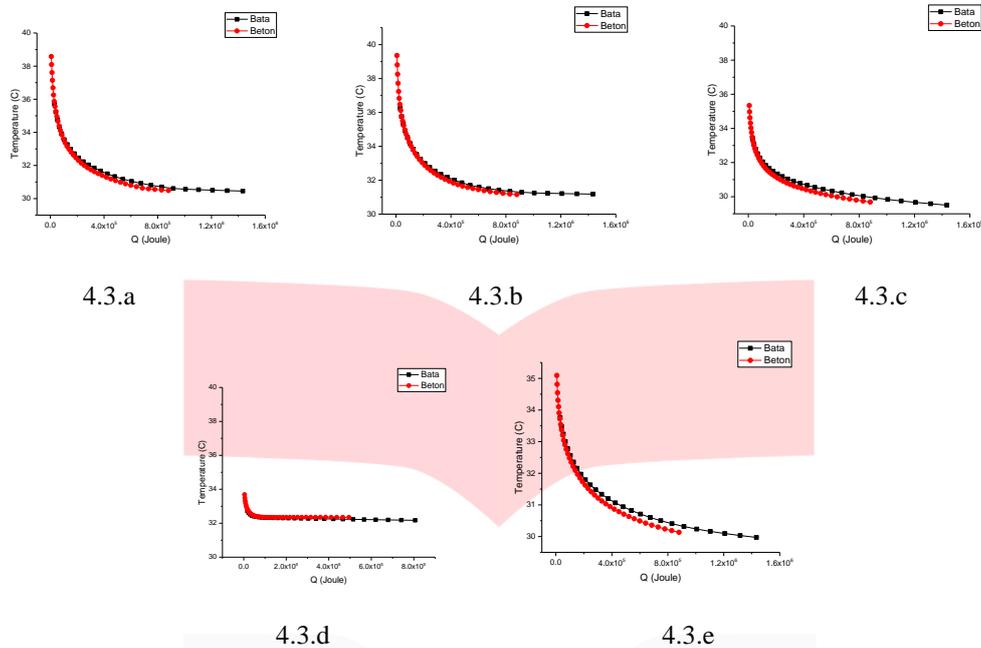
Pada gambar 4.2.a dengan percobaan PCM yang diletakkan pada masing-masing case, bahwa menggunakan PCM sebanyak 2 buah dengan massa yang sesuai dengan material pada penelitian yang dilakukan di bangunan kotak dari hasil yang terlihat pada gambar 4.1 yaitu material bata dengan massa 1.7kg dan material beton dengan massa 2.4kg dan diletakkan pada tempat case 3 (PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian selatan) menghasilkan massa termal optimum yang sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan pada gambar 4.1 yaitu untuk material bata dengan temperature 32.42°C dan material beton 31.81°C .

Pada gambar 4.2.b dengan percobaan PCM yang diletakkan pada masing-masing case, bahwa menggunakan PCM sebanyak 2 buah dengan massa yang sesuai dengan material pada penelitain yang dilakukan di bangunan kotak dari hasil yang terlihat pada gambar 4.2 yaitu material bata dengan massa 1.7kg dan materil beton dengan massa 2.4kg. Pada percobaan yang dilakukan pada bangunan yang menggunakan AC memiliki perbedaan letak, yaitu untuk material bata PCM diletakkan pada tempat case 4 (PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian utara) menghasilkan massa termal optimum yang sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan pada gambar 4.2 yaitu dengan cooling load 2248.43 W dan untuk material beton PCM diletakkan pada case 3 (PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian selatan) menghasilkan massa termal optimum yang sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan pada gambar 4.2 yaitu dengan cooling load sebesar 2025.57 W

4.2 Massa termal dan banyak PCM pada Bangunan Rumah

Simulasi yang dilakukan penulis pada bangunan rumah dengan material bata dan beton untuk menentukan massa termal optimum di daerah tropis menggunakan weather data Jakarta dan hasil yang didapat pada bangunan

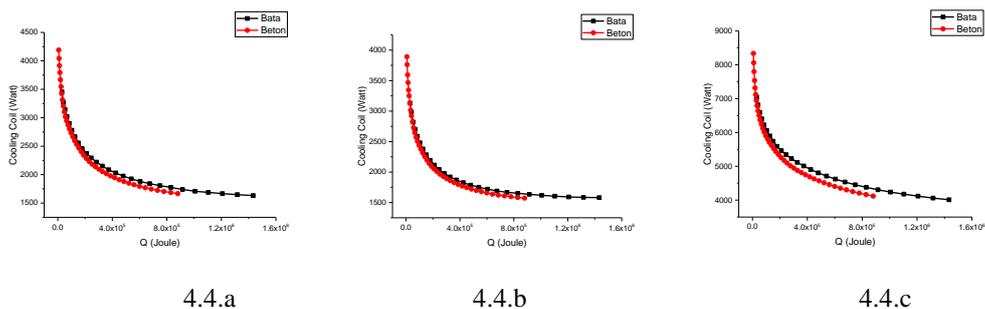
rumah dengan geometri yang terlampir pada gambar 3.7 memiliki 5 zone. Dengan zone 1 merupakan bagian dari kamar 2, zone 2 merupakan bagian dari kamar 1, zone 3 merupakan bagian dari kamar mandi, zone 4 merupakan bagian dari loteng dan zone 5 merupakan bagian dari ruang keluarga dan dapur. Dari simulasi yang telah dilakukan untuk mendapatkan hasil massa termal optimum pada bangunan tropis dengan ketebalan bangunan dari 0.1m-0.36m untuk material bata dan 0.1m-0.5m untuk material beton pada bangunan rumah yang tidak menggunakan AC dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.3.a. Persamaan Massa Termal Optimum Thermal Zone 1 , gambar 4.3.b Persamaan Massa Termal Optimum Thermal Zone 2, gambar 4.3.c Persamaan Massa Termal Optimum Thermal Zone 3, gambar 4.3.d Persamaan Massa Termal Optimum Thermal Zone 4, gambar 4.3. e Persamaan Massa Termal Optimum Thermal Zone 5

Massa termal optimum untuk material bata berada pada ketebalan 0.25m dengan nilai Q sebesar 480000 J dengan temperature yang berbeda pada setiap zone, yaitu pada zone 1 temperature sebesar 31.34°C, temperature zone 2 sebesar 31.85°C, temperature zone 3 sebesar 30.55°C, temperature zone 4 sebesar 32.29°C, temperature zone 5 sebesar 30.94°C. Sedangkan untuk material beton, massa termal optimum berada pada ketebalan 0.38m dengan Q sebesar 386298.88 J dengan temperature yang berbeda pada setiap zone, yaitu yaitu pada zone 1 temperature sebesar 31.4°C, temperature zone 2 sebesar 31.94°C, temperature zone 3 sebesar 30.48°C, temperature zone 4 sebesar 32.35°C, temperature zone 5 sebesar 30.95°C. Dari hasil tersebut disimpulkan dengan menggunakan persamaan 4-1, untuk mengetahui berapa banyak PCM pada bangunan dengan massa termal optimum menggunakan persamaan 2-5 untuk material bata memperoleh hasil m = 1.9 kg dan material bata memperoleh hasil m= 1.5kg dengan nilai kalor lebur pada PCM yaitu 250000 J/Kg.

Untuk hasil penelitian pada bangunan rumah yang menggunakan AC dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 4.4.a Persamaan Massa Termal Optimum Thermal Zone 1 , gambar 4.4.b Persamaan Massa Termal Optimum Thermal Zone 2, gambar 4.4.c Persamaan Massa Termal Optimum Thermal Zone 5

Massa termal optimum untuk material bata berada pada ketebalan 0.25m dengan nilai Q sebesar 480000 J dengan *cooling load* yang berbeda pada setiap zone, yaitu pada zone 1 *cooling load* sebesar 1975.47 W , *coolong load* zone 2 sebesar 1785.99 W, dan *cooling load* zone 5 sebesar 4806.16 W Sedangkan untuk material beton, massa termal optimum berada pada ketebalan 0.38m dengan Q sebesar 386298.88 J dengan temperature yang berbeda pada setiap zone, yaitu pada zone 1 *cooling load* sebesar 2027.74 W , *coolong load* zone 2 sebesar 1798.75 W, dan *cooling load* zone 5 sebesar 4751.09 W. Dari hasil tersebut disimpulkan dengan menggunakan persamaan 4-1, untuk mengetahui berapa banyak PCM pada bangunan dengan massa termal optimum menggunakan persamaan 2-5 untuk material bata memperoleh hasil $m = 1.9$ kg dan material bata memperoleh hasil $m = 1.5$ kg dengan nilai kalor lebur pada PCM yaitu 250000 J/Kg.

Dari simulasi yang telah dilakukan penulis bahwa setiap zona pada bangunan rumah memiliki temperature dan *cooling load* yang berbeda-beda sesuai zona. Dari bangunan pada gambar 3.7 menghasilkan temperature dan *cooling load* yang besar nilainya pada zona 5 atau ruang keluarga dan ruang dapur, dikarenakan ruangan tersebut memiliki luas yang lebih besar.

Dari hasil penelitian untuk mengetahui PCM pada bangunan dengan massa termal optimum dilakukan simulasi pada masing-masing *case* dengan massa yang berbeda yaitu, untuk bangunan yang tidak menggunakan AC, sebagai berikut.

Bata	Thermal Zone 1	Thermal Zone 2	Thermal Zone 3	Thermal Zone 4	Thermal Zone 5	Beton	Thermal Zone 1	Thermal Zone 2	Thermal Zone 3	Thermal Zone 4	Thermal Zone 5
Case 1	30.89	31.49	30.07	32.09	30.70	Case 1	31.04	31.69	30.17	32.11	30.80
Case 2	31.20	31.49	30.08	32.08	30.35	Case 2	31.25	31.54	30.17	32.11	30.57
Case 3	31.18	31.39	29.79	32.09	30.39	Case 3	31.23	31.60	30.05	32.13	30.75
Case 4	30.68	31.67	30.18	32.12	30.64	Case 4	30.96	31.78	30.24	32.12	30.75

4.5.a

4.5.b

Gambar 4.5.a Hasil penelitian PCM pada bangunan rumah dengan material bata tidak menggunakan AC, gambar 4.5.b Hasil penelitian PCM pada bangunan rumah dengan material beton tidak menggunakan AC

Dari gambar 4.5 penelitian yang dilakukan pada bangunan rumah yang tidak menggunakan AC dengan percobaan PCM yang diletakkan pada masing-masing *case*, bahwa menggunakan PCM sebanyak 2 buah dengan massa yang sesuai dengan material pada penelitian yang dilakukan di bangunan rumah yaitu masing-masing zona memiliki penempatan PCM yang berbeda pada material bata dengan massa 1.9kg untuk zona 2,3 dan 4 menggunakan hasil pada *case 3* dimana PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian selatan, untuk zona 1 menggunakan hasil pada *case 2* dengan PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian timur, sedangkan pada zona 5 menggunakan hasil pada *case 4* dimana PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian barat. Dari hasil penelitian tersebut menghasilkan massa termal optimum yang mendekati dengan hasil penelitian yang telah dilakukan pada bangunan rumah.

Sedangkan material beton dengan massa 1.5kg untuk zona 2 dan 3 menggunakan hasil pada *case 3* dimana PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian selatan, untuk zona 1 menggunakan hasil pada *case 2* dengan PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian timur, untuk zone 4 menggunakan hasil *case 2* dimana PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian selatan, sedangkan pada zona 5 menggunakan hasil pada *case 4* dimana PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian barat. Dari hasil penelitian tersebut menghasilkan massa termal optimum yang mendekati dengan hasil penelitian yang telah dilakukan pada bangunan rumah.

Bata	Thermal Zone 1	Thermal Zone 2	Thermal Zone 5	Beton	Thermal Zone 1	Thermal Zone 2	Thermal Zone 5
Case 1	1860.18	1742.33	4716.32	Case 1	1877.53	1756.73	4704.89
Case 2	1956.58	1770.84	4447.35	Case 2	1964.61	1750.71	4499.40
Case 3	1936.72	1707.02	4692.28	Case 3	1950.88	1732.50	4661.89
Case 4	1801.04	1707.51	4610.49	Case 4	1839.64	1791.31	4641.80

4.6.a

4.6.b

Gambar 4.6.a Hasil penelitian PCM pada bangunan rumah dengan material bata menggunakan AC, gambar 4.6.b Hasil penelitian PCM pada bangunan rumah dengan material beton menggunakan AC

Dari gambar 4.6 penelitian yang dilakukan pada bangunan rumah yang menggunakan AC dengan percobaan PCM yang diletakkan pada masing-masing *case*, bahwa menggunakan PCM sebanyak 2 buah dengan massa yang sesuai dengan material pada penelitian yang dilakukan di bangunan rumah yaitu masing- masing zona memiliki penempatan PCM yang berbeda pada material bata dengan massa 2kg untuk zona 1 dan 2 menggunakan hasil dari *case 2* dimana PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian timur, sedangkan untuk zona 5

menggunakan hasil *case 1* dimana PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian barat. Dari hasil penelitian tersebut menghasilkan massa termal optimum yang mendekati dengan hasil penelitian yang telah dilakukan pada bangunan rumah. Sedangkan untuk material beton dengan massa 1.6kg untuk zona 1 menggunakan hasil dari *case 2* dimana PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian timur, untuk zona 2 menggunakan hasil dari *case 4* dimana PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian utara, sedangkan untuk zona 5 menggunakan hasil *case 1* dimana PCM diletakkan pada bagian atap dan dinding bagian barat. Dari hasil penelitian tersebut menghasilkan massa termal optimum yang mendekati dengan hasil penelitian yang telah dilakukan pada bangunan rumah. Pada penelitian yang dilakukan bahwa peletakkan PCM pada bangunan rumah memiliki penempatan yang berbeda-beda sesuai dengan zona pada bangunan rumah tersebut, sedangkan jumlah PCM yang digunakan sebanyak 2 buah dengan massa yang sesuai dengan material yang digunakan yaitu material bata dan beton.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut, Pada material beton nilai temperature dan beban pendingin (*cooling load*) yang dihasilkan dari simulasi lebih besar dibandingkan menggunakan material bata. dikarenakan material beton memiliki *thermal diffusivity* yang lebih besar dibandingkan dengan material bata. Massa termal optimum dengan geometri dan material yang berbeda akan mendapatkan hasil yang berbeda, akan tetapi perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan. PCM juga memiliki massa yang berbeda pada material bata dan beton untuk bangunan kotak dan bangunan rumah, dikarenakan nilai Q yang berbeda dari kedua bangunan tersebut.

6. Referensi

- [1] E. Djunaedy, *Konsep Kinerja Bangunan*. 2018.
- [2] *Designing Comfortable Homes*, 2nd ed. Wellington: Cement & Concrete Association of New Zeland, 2010.
- [3] Y. Li dan P. Xu, "Thermal Mass Design in Buildings - Heavy or Light?," *Jurnal International of Ventilation*, vol. 5, hlm. 1–7.
- [4] A. Winarta, M. Amin, dan N. Putra, "Aplikasi PCM Bees Wax sebagai teknologi penyimpanan energi (thermal energy storage) pada pemanas air domestik," hlm. 8.
- [5] T. de Saulles, "The Concrete Center," *The Concrete Centre*, 2009.
- [6] K. S. Dharma dan E. Djunaedy, "KUANTIFIKASI MASSA TERMAL DALAM BANGUNAN PADA DAERAH TROPIS," hlm. 7.
- [7] S. Kalaiselvam dan R. Parameshwaran, "Thermal Energy Storage Technologies," dalam *Thermal Energy Storage Technologies for Sustainability*, Elsevier, 2014, hlm. 57–64.
- [8] A. Sharma, V. V. Tyagi, C. R. Chen, dan D. Buddhi, "Review on thermal energy storage with phase change materials and applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 2, hlm. 318–345, Feb 2009.
- [9] A. Yao, "FabShops: Intro to 3D Printing," hlm. 11.