

Pemanfaatan Sistem Pengondisian Udara Pasif dalam Penghematan Energi

Lia Laila

Prodi Teknologi Pengolahan Sawit, Institut Teknologi dan Sains Bandung

Abstrak. Sistem pengondisian udara dibutuhkan untuk menjaga kondisi ruangan tetap sehat dan nyaman. Namun, biaya energi listrik untuk sistem pengondisian udara aktif yaitu *Air Conditioning* (AC) cukup tinggi. Sehingga diperlukan upaya untuk menurunkan beban pendinginan pada bangunan guna menghemat energi listrik melalui sistem pengondisian udara pasif menggunakan bahan berubah fasa. Bahan berubah fasa (*phase change material*-PCM) dapat menyimpan energi termal dari lingkungan sehingga temperatur dalam ruangan lebih rendah dan stabil. Penelitian ini mengkaji batako untuk dinding bangunan yang kualitasnya unggul, baik dari segi termal maupun kekuatan struktur. Terdapat dua metode yang dilakukan, yaitu pengujian langsung pada miniatur bangunan dan perhitungan beban pendinginan menggunakan *software*. PCM yang digunakan adalah minyak kelapa, sedangkan media penyimpanannya adalah batu apung. Batu apung yang mengandung PCM dicampurkan dengan semen dan pasir untuk dijadikan batako penyusun miniatur dinding bangunan. Hasil pengujian temperatur pada dinding miniatur bangunan menunjukkan bahwa temperatur ruangan pada bangunan dengan PCM relatif lebih rendah rata-rata 1°C dibandingkan temperatur ruangan bangunan tanpa PCM dan temperatur dinding dalam bangunan dengan PCM lebih rendah sebesar 3,38°C. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa PCM dapat menurunkan beban pendinginan bangunan sekitar 3,8 W/m² luas lantai. Menurunnya beban pendinginan diharapkan dapat menurunkan daya AC yang dibutuhkan oleh suatu bangunan sehingga terciptanya penghematan energi.

Kata Kunci: Bahan Berubah Fasa, PCM, Temperatur, Beban Pendinginan, Penghematan Energi

1. Pendahuluan

Populasi manusia yang meningkat tiap tahun menimbulkan bertambahnya kebutuhan energi. Pertumbuhan konsumsi energi rata-rata 7% per tahun, sedangkan pertumbuhan kebutuhan energi listrik mencapai 9,2% per tahun. Sumber energi yang paling dominan digunakan berasal dari energi tak terbarukan yaitu energi fosil. Sisa pembakaran energi fosil mengakibatkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan makhluk hidup karena melepaskan gas-gas pencemar udara diantaranya karbondioksida. Karbondioksida merupakan salah satu GRK (Gas Rumah Kaca) yang dapat meningkatkan temperatur permukaan bumi.

Temperatur maksimum Indonesia mencapai 33°C pada bulan Oktober (Indonesia Climate, 2012). Hal ini dapat mengganggu produktivitas kerja karyawan di dalam ruangan karena tidak sesuai dengan standar kenyamanan yang berkisar pada temperatur 24°C - 27°C dan kelembaban relatif 55% - 65% (Standar Nasional Indonesia, 2011). Oleh karena itu, perlu adanya sistem pengondisi udara dalam ruangan untuk menunjang terciptanya kenyamanan termal. Sistem AC (*Air Conditioning*) umumnya digunakan untuk mengondisikan udara dalam bangunan. AC merupakan sistem pengondisi udara aktif. Namun, biaya energi listrik untuk sistem AC dapat mencapai 50% - 70% dari keseluruhan konsumsi energi listrik bangunan (Loekita, 2006). Sehingga perlu adanya alternatif lain untuk mengondisikan udara dalam bangunan yang lebih ramah lingkungan dan dapat menghemat energi listrik, salah satunya menggunakan sistem pengondisian udara pasif.

Bahan berubah fasa (*Phase Change Material*-PCM) dapat digunakan sebagai pengondisi udara pasif. PCM dapat menyimpan panas dalam bentuk kalor laten, yakni kalor yang tersimpan dalam suatu zat untuk mengubah wujudnya dari satu bentuk ke bentuk lain tanpa mengalami kenaikan temperatur. PCM dapat digunakan sebagai bahan campuran untuk dinding bangunan. Bahan berubah fasa tersebut diharapkan dapat menurunkan beban pendinginan pada ruangan dan menghemat energi listrik dengan cara menyimpan energi termal dari lingkungan.

2. Sistem Pengondisian Udara

Sistem pengondisian udara merupakan suatu sistem yang digunakan untuk mengatur dan mempertahankan keadaan udara yang meliputi temperatur, kelembaban relatif, kecepatan sirkulasi udara, maupun kualitas udara dalam suatu ruangan untuk mencapai kondisi sesuai dengan persyaratan kenyamanan dan kesehatan. Perangkat pengondisian udara berfungsi menyerap kalor yang ditimbulkan oleh panas matahari, lampu penerangan, peralatan listrik, dan tubuh manusia.

3. Beban Pendinginan

Beban pendinginan dalam bangunan didefinisikan sebagai energi per satuan waktu yang harus dikeluarkan dari dalam bangunan agar temperatur dan kelembaban di dalam ruangan dapat terjaga pada kondisi sesuai desain dan kenyamanan termal. Jumlah energi ini bergantung pada perpindahan kalor yang terjadi antara bangunan dan lingkungan.

Beban pendinginan pada ruangan disebabkan oleh pengaruh kalor dari luar maupun dari dalam. Radiasi matahari sebagai sumber kalor dari luar merupakan kalor sensibel yang cukup besar. Radiasi matahari dipengaruhi oleh posisi gedung terhadap mata angin, sudut datang sinar matahari dan lamanya penyinaran. Sedangkan sumber kalor dari dalam ruangan yaitu kalor dari tubuh manusia, lampu penerangan, dan peralatan lainnya. Selain itu, terdapat transmisi kalor melalui beban bangunan secara konduksi, diantaranya adalah kaca, dinding, atap, dan konduksi dari partisi.

4. Pembuatan Batu Apung PCM

Batu apung PCM adalah batu apung yang mengandung bahan berubah fasa. Bahan yang digunakan dalam pembuatan batu apung PCM adalah batu apung dan minyak kelapa (lihat Gambar 1). Minyak kelapa tersebut dipanaskan bersama batu apung di dalam tungku (lihat Gambar 1), sehingga minyak masuk ke dalam pori-pori baru apung. Tungku baja ini berukuran diameter 6 in dan tinggi 30 cm.

Minyak kelapa membeku pada temperatur 24°C dan mencair kembali pada 26°C . Pada rentang temperatur tersebut, kalor yang masuk tidak berfungsi untuk menaikkan temperatur melainkan untuk merubah fasa dari padat ke fasa cair.



(a)



(b)



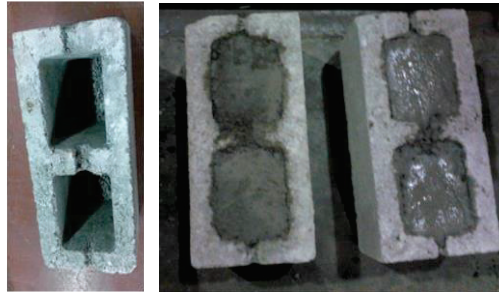
(c)

Gambar 1. (a) Batu Apung, (b) Minyak Kelapa, (c) Tungku Pemanas

5. Pembuatan Batako

Batako yang digunakan untuk pembuatan miniatur bangunan adalah bataton H yang diisi oleh adonan berisi semen, pasir, batu apung, dan air. Bataton merupakan batako yang berlubang dengan ukuran $29\text{ cm} \times 14\text{ cm} \times 10\text{ cm}$.

Gambar batako dan bataton H dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bataton H

Komposisi adonan yang dimasukkan ke dalam bataton adalah semen: pasir : batu apung PCM = 1 : 2,5 : 1,5. Banyaknya adonan yang dimasukkan ke dalam bataton sesuai dengan volume bagian bataton yang kosong.

6. Pembuatan Miniatur Bangunan

Miniatur bangunan dibuat dari bahan dasar kayu dengan ukuran alas 2 m x 1 m, tinggi dinding 1 m, dan tinggi atap 0,3 m dengan kemiringan sekitar 30°. Di bagian belakang dan samping miniatur bangunan, dibuat lubang berukuran 20 cm x 10 cm sebagai ventilasi. Untuk membandingkan temperatur dinding batako PCM dan batako non-PCM, miniatur bangunan disekat pada bagian tengah dengan menggunakan bahan kayu yang sama.

Bataton yang dibutuhkan untuk pembuatan miniatur bangunan sebanyak 21 buah bataton PCM dan 21 buah bataton non-PCM. Campuran adonan untuk bataton PCM membutuhkan semen sebanyak 12,6 kg, pasir 31,5 kg, batu apung PCM 18,9 kg, dan air 6 L. Sedangkan pembandingnya, bataton non-PCM, menggunakan bataton kosong. Persentase PCM di pada dinding berukuran 1 m x 1m adalah 4,09%.

Kerangka miniatur bangunan bagian belakang dapat dilihat pada Gambar 3.

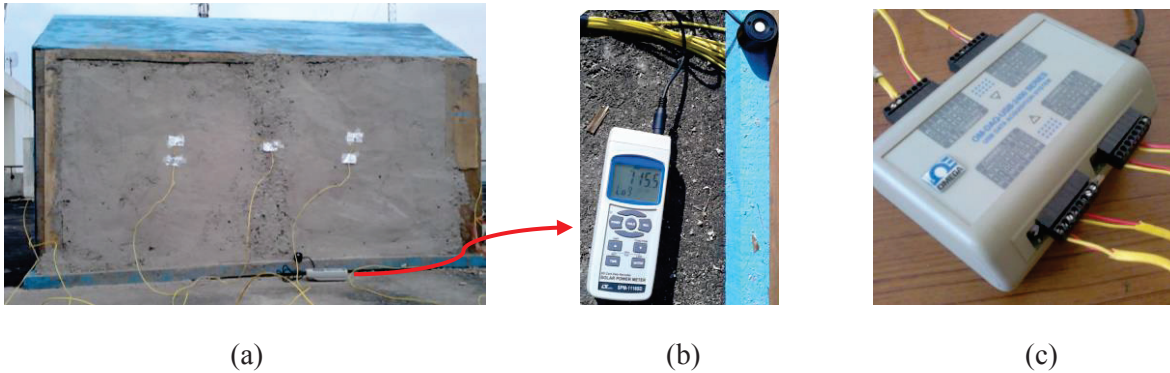


Gambar 3. Miniatur bangunan

7. Pengukuran Temperatur pada Miniatur Bangunan

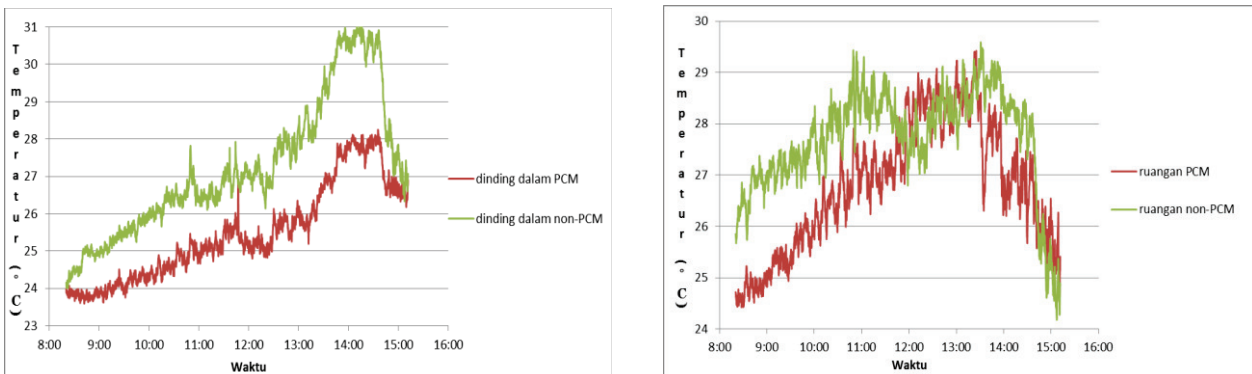
Pengukuran dilakukan dengan menggunakan termokopel tipe K yang dihubungkan pada *data acquisition*. *Data acquisition* ini memiliki 8 channel, sehingga terdapat 8 termokopel yang dapat mengukur temperatur secara bersamaan. Alat ini dihubungkan pada komputer sehingga dapat terbaca secara langsung perbandingan temperatur yang terukur oleh termokopel. Pemasangan termokopel pada *data acquisition* terdapat pada Gambar 4.

Titik pengukuran temperatur diambil pada bagian luar dinding, bagian dalam dinding, dan temperatur ruang. Sebagai pembanding, dilakukan pengukuran temperatur lingkungan dan intensitas radiasi matahari. Miniatur bangunan diukur temperaturnya setelah dinding bataton dipleseter. Selain temperatur, iradiasi matahari pun diukur menggunakan solarimeter. Pengukuran temperatur dan iradiasi pada miniatur bangunan ditunjukkan pada bataton dengan menggunakan metode kedua terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. (a) Pengukuran Temperatur pada Miniatur Bangunan, (b) Solarimeter, (c) Pemasangan Termokopel pada *Data Acquisition*

Hasil pengukuran temperatur pada dinding bagian dalam dan pada ruangan miniatur bangunan terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik temperatur terhadap waktu pada miniatur bangunan antara dinding PCM dan dinding non-PCM

Pada Gambar 5, nampak bahwa dinding dalam PCM memiliki temperatur yang lebih rendah dibandingkan dinding dalam non-PCM. Perbedaan temperatur dinding dalam miniatur bangunan rata-rata sebesar $1,76^{\circ}\text{C}$. Sedangkan perbedaan temperatur maksimum dinding dalam yang terjadi pada pukul 13:40 yaitu sebesar $3,38^{\circ}\text{C}$.

Temperatur dinding dalam miniatur bangunan yang lebih rendah menyebabkan temperatur ruangan lebih rendah pula yang terlihat pada Gambar 5. Namun setelah pukul 12, temperatur temperatur ruangan PCM lebih tinggi, hal ini disebabkan karena arah pergerakan matahari. Dinding ruangan PCM terkena sinar matahari, bahkan sinar matahari langsung masuk ke dalam lubang jendela dinding yang mengakibatkan dinding bangunan PCM mendapat radiasi matahari yang relatif lebih tinggi.

Temperatur rata-rata ruangan PCM adalah $26,79^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur rata-rata ruangan non-PCM adalah $27,71^{\circ}\text{C}$. Perbedaan temperatur ruang maksimum terjadi pada pukul 13:33 yaitu sebesar $2,90^{\circ}\text{C}$. Sedangkan perbedaan temperatur ruang bangunan PCM dengan ruang bangunan tanpa PCM rata-rata sebesar 1°C .

8. Pengujian Konduktivitas Termal

Transmisi kalor pada bangunan secara konduksi salah satunya adalah melalui dinding. Nilai konduktivitas termal pada batako mempengaruhi besarnya beban pendinginan pada dinding. Pengukuran konduktivitas termal dilakukan untuk mengetahui kemampuan batako dalam menghantarkan panas. Batako PCM (batako yang mengandung PCM) diharapkan mempunyai nilai konduktivitas termal yang lebih rendah dibandingkan batako non-PCM.

Spesimen uji harus memiliki ukuran 20 cm x 10 cm x 5 cm. Terdapat dua jenis batako yang diukur ketahanan termalnya, yaitu batako non-PCM dan batako PCM. Nilai konduktivitas termal batako langsung ditampilkan setelah beberapa menit.

Konduktivitas termal yang rendah dapat menghambat masuknya kalor ke dalam ruangan sehingga temperatur dinding dalam bangunan akan lebih rendah dan temperatur ruangan menjadi relatif lebih rendah pula. Dengan demikian, kenyamanan termal pada suatu ruangan akan tercapai dan dapat menghemat energi listrik. Hasil uji konduktivitas termal batako terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Konduktivitas Termal Batako

No.	Jenis Batako	Nilai konduktivitas termal (W/m.K)
1	Batako non-PCM	0.683
2	Batako PCM	0.436

Bataton PCM memiliki nilai konduktivitas termal ekuivalen yang lebih rendah dibandingkan dengan bataton non-PCM. Namun, nilai konduktivitas termal batako PCM tersebut merupakan nilai ekuivalen yang hanya relevan pada kurun waktu tertentu, yaitu sekitar pukul 08:00 – 12:00. Dengan adanya bahan berubah fasa pada batako, maka nilai konduktivitas termal tidak konstan sepanjang waktu tergantung pada fasa PCM pada batako.

9. Pengujian Kekuatan Struktur Batako

Pada penelitian ini, diharapkan dapat menghasilkan batako yang baik secara termal maupun kekuatan struktur. Dalam aplikasinya, kekuatan struktur batako untuk bangunan rumah atau gedung harus sesuai standar karena menyangkut keamanan hidup manusia.

Pengujian ini dilakukan di Lab. Struktur Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung. Spesimen yang diuji adalah bataton kosong dan bataton PCM. Spesimen uji diberi beban tekan sampai terlihat retak. Gambar alat uji dan proses pengujian kekuatan batako terdapat pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses Pengujian Kekuatan Batako

Sebelum pembuatan bataton untuk miniatur bangunan, dilakukan uji kekuatan struktur. Terdapat dua jenis bataton yang diuji, yaitu bataton kosong dan bataton PCM. Kekuatan tekan bataton PCM memenuhi kekuatan tekan bruto rata-rata minimum untuk batako pejal mutu I. Hasil uji kekuatan bataton terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kekuatan Struktur Batako

No.	Jenis Batako	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Beban Maks (kg)	Kekuatan Tekan (kg/cm ²)
1	Bataton Kosong	246	31500	128
2	Bataton PCM	406	35300	87

10. Perhitungan Beban Pendinginan

Perhitungan beban pendinginan dilakukan untuk membandingkan beban pendinginan antara bangunan PCM (bangunan yang menggunakan bahan berubah fasa sebagai campuran dinding bangunan) dengan bangunan non-PCM (bangunan yang tidak mengandung PCM). Perhitungan dengan *software cooling load calculation* Daikin ini menggunakan metode perhitungan beban dengan asumsi tunak. Perhitungan beban pendinginan ini bermaksud melihat efek PCM yang terdapat pada bangunan pada waktu tertentu dan membandingkannya dengan bangunan non-PCM, yaitu pukul 08:00 – 12:00. Semua data yang digunakan untuk kedua jenis bangunan adalah sama, kecuali nilai konduktivitas termal dari batako.

Bangunan yang dianalisis adalah rumah dua lantai dengan luas tanah 280 m² yang berlokasi di Jakarta. Hasil perhitungan beban pendinginan untuk bangunan standar, bangunan biasa dan bangunan PCM ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Total Beban Pendinginan

Nama Bangunan	Konduktivitas Termal (W/mK)	Total Beban Pendinginan (W)
Bangunan Standar	1,4	31587
Bangunan Biasa	0,683	30568
Bangunan PCM	0,436	29908

11. Kesimpulan

Bataton PCM terbukti memiliki kualitas yang unggul, baik secara termal maupun kekuatan struktur. Hal ini telah dibuktikan dengan pengujian temperatur miniatur bangunan, konduktivitas termal batako PCM, dan pengujian struktur bataton. Bahan berubah fasa dapat menurunkan beban pendinginan pada ruangan dengan cara menyimpan kalor dari luar sehingga temperatur ruangan relatif lebih rendah dari bangunan yang tidak menggunakan bahan berubah fasa.

12. Daftar Referensi

- [1] Amar M. Khudhair and Mohammed M. Farid, A Review on Energy Conservation in Building Applications with Thermal Storage by Latent Heat Using Phase Change Materials, *Energy Conversion and Management*, **45**:263–275, 2004.
- [2] V.V. Tyagi, S.C. Kaushik, S.K. Tyagi, T. Akiyama, Development of Phase Change Materials Based Microencapsulated Technology for Buildings: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **15**:1373–1391, 2011.
- [3] Carrier Air Conditioning Company, *Handbook of Air Conditioning System*, McGraw–Hil, New York, 1965
- [4] S. M. Noerbambang, Sistem Pengkondisian Udara, dipresentasikan pada kuliah Sistem Pengkondisian Udara, Bandung, 2011.
- [5] DACCS-HKGSG, Operation Manual Heat Load Calculation Software, Edisi 2, Daikin Industries, LTD, 2008.
- [6] Loekita S, Analisis Konservasi Energi Melalui Selubung Bangunan, *Dimensi Teknik Sipil*, 8-12, 93-98, 2006.
- [7] Maritje Hutapea, Kebijakan dan Program Pengembangan Bahan Bakar Nabati, Bandung, 2012.
- [8] Michael J. Moran dan Howard N. Saphiro, *Fundamental of Engineering Thermodynamics*, Edisi 4, John Wiley & Sons, New York, 2000.
- [9] (2012) [Online]. Available: <http://www.climatetemp.info/indonesia>.