

Aplikasi PCM Bees Wax sebagai teknologi penyimpanan energi (thermal energy storage) pada pemanas air domestik

Adi Winarta¹⁾, Muhammad Amin¹⁾, Nandy Putra^{1)*}

¹⁾Applied Heat Transfer Research Group, Departemen Teknik Mesin,
Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424
Email: nandyputra@ui.ac.id

Abstrak

Sistem pemanas air merupakan salah satu penggunaan energi terbesar pada industri perhotelan selain pengkondisian udara dan penerangan. Temperatur air yang dihasilkan pada sistem pemanas air domestik biasanya berkisar antara 55-65°C. Phase Change Material (PCM) sebagai salah satu teknologi thermal storage dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik pada sistem pemanas air. PCM memanfaatkan kalor laten untuk menyimpan energi dan melepaskannya pada kondisi yang diinginkan. Pada penelitian ini diuji sebuah sistem pemanas air domestik dengan volume air sebesar 100 liter. Sumber kalor pada pemanas ini menggunakan heater listrik dengan daya total 3000 Watt. Sejumlah PCM diletakkan didalam drum pemanas air sebagai thermal storage dengan tujuan mempertahankan temperatur air pada suhu 60C sehingga penggunaan listrik oleh heater dapat dikurangi. Material PCM menggunakan bahan organik lilin lebah atau bees wax yang memiliki titik leleh 52°C-66°C. Bees wax ditempatkan pada kontainer yang terbuat dari pipa tembaga dengan diameter dalam 38,1 milimeter dan panjang 260 mm. Pengujian dilakukan dengan menguji tiga variasi massa PCM yakni 1,9 kg, 5,1 kg, dan 7,3 kg. Hasil pengujian menyatakan bahwa penggunaan PCM 1,9 kg memiliki waktu penundaan heater yang paling lama yakni 1 jam 6 menit 40 detik. Penggunaan PCM masih memiliki penggunaan daya yang lebih besar dibandingkan tanpa PCM yakni 12,93 kJ pada masa PCM 1,9 kg, 13,88 kJ pada 5,1 kg PCM dan 14,803 kJ pada 7,3 kg masa PCM.

Kata kunci: Phase Change Material (PCM), Beewax, Domestic Water Heater.

Abstract

Water heating system is one of the largest energy users in the hospitality industry, in addition to the air conditioning and lighting. The temperature of water which is produced on the domestic water heating systems typically range between 55-65°C. Phase Change Material (PCM) as one of the thermal storage technology can be utilized to improve the efficiency of energy use in water heating systems. PCM utilizes latent heat to store energy and release it at the desired conditions. This study tested a domestic water heating system with 100 liters water volume. The heat source in heating is using an electric heater with a total power of 3000 Watts. A number of PCM is placed inside the water heater drum as a thermal storage to maintaining the temperature of the water keep at 60°C, so that the use of electricity by the heater can be reduced. PCM material using organic materials such as bees wax which has a melting point of 52°C - 66°C. Bees wax is placed in containers made of copper pipe with an inner diameter of 38.1 millimeters and a length of 260 mm. Testing is done by testing five variations of the PCM mass 1,9 kg, 5,1 kg, and 7,3 kg. The test results stated, with the latent heat 0,242 kJ/g bees wax is capable to maintaining the temperature of water at 65°C for 116.6 minutes.

Keywords: Phase Change Material (PCM), Bees Wax, Pemanas air domestic

Keywords : Phase Change Material (PCM), Bees Wax, Pemanas air domestic

1. PENDAHULUAN

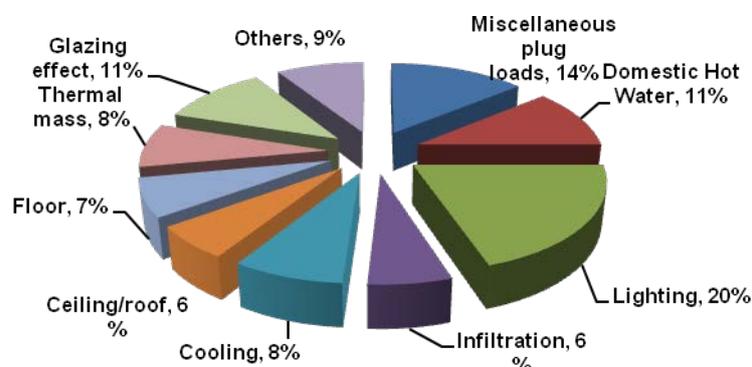
Meningkatnya ketersediaan jumlah kamar hotel mengakibatkan naiknya kebutuhan energi di Pulau Bali. Gedung-gedung komersil salah satunya untuk perhotelan mengkonsumsi energi yang cukup besar. Kebutuhan energi tersebut pada umumnya sebagian besar didominasi oleh sistem penerangan, sistem pemanasan air domestik (domestic hot water system) dan sistem pengkondisian udara (HVAC). Konsumsi energi pada bangunan-bangunan komersil dan penggunaan perumahan sebesar 35,3 % dari total penggunaan energi global. Dari sejumlah itu sebesar 75% digunakan untuk pengkondisian udara dan pemanasan air domestik [1]. Melonjaknya penggunaan energi pada industri perhotelan, merupakan ancaman serius bagi keseimbangan penggunaan energi di Bali, mengingat sampai saat ini sebgaiian besar penyediaan energi listrik masih disuplai dari PLTU Paiton di Jawa Timur.

Pemanfaatan air panas disebuah hotel berbintang cukup beragam yakni mulai dari fasilitas pada kamar hotel, laundry, spa kitchen dan sanitasi. Pada gedung-gedung komersil serta bangunan

* Nandy Putra08128781557
Eemail: nandyputra@eng.ui.ac.id

perumahan penggunaan air panas juga biasanya untuk kebutuhan di kamar mandi, mencuci (laundry) dan dapur (kitchen). Temperatur air untuk kebutuhan diatas biasanya berkisar antara 50°C sampai dengan 60°C. Sistem penyediaan air panas untuk kebutuhan pada temperatur tersebut dinamakan sistem Domestic Water Heater (DWH). Penggunaan energi untuk kebutuhan pemanasan air domestik rata-rata 11% dari total penggunaan energi pada bangunan(Gambar 1) [2]. Sehingga penyediaan air panas sebagai salah satu fasilitas pada industri perhotelan juga berperan menaikkan penggunaan energi pada bangunan perhotelan.

Kebutuhan daya listrik di pulau Bali untuk industri perhotelan masih dipasok penuh dari PLN. Di sisi lain penggunaan fossil fuel sebagai sumber energi utama pembangkit listrik di Indonesia memberikan dampak yang buruk terhadap lingkungan karena dihasilkannya CO₂ sebagai salah satu greenhouse gas (GHG). GHG yang utamanya terdiri dari CO₂,CH₄, N₂O,O₃ dan uap air (H₂O) merupakan gas-gas yang berperan di atmosfer dalam upaya menyerap dan mengemisikan kembali panas di permukaan bumi sehingga temperatur permukaan bumi tetap pada kondisi hangat. Akan tetapi penggunaan minyak bumi, batu bara dan gas bumi sebagai pembangkit listrik atau sebagai sumber energi sehari-hari menghasilkan gas CO₂ sebagai produk hasil pembakaran. Gas CO₂ yang lepas ke atmosfer menyebabkan kenaikan level GHG secara signifikan dan menyebabkan perubahan suhu lingkungan yang ekstrem atau pemanasan global.



Gambar 1. Rincian penggunaan energi relative rata-rata pada konsumen [2]

Pemanas air (water heater) merupakan salah satu dari peralatan pengguna energi terbesar di hampir seluruh dunia, sebagai contoh penggunaan energi untuk air panas di Amerika diperkirakan mencapai 11% [3], Eropa sekitar 14% [4], Kanada sebesar 22% [5], Australia 25% [6], Mexico 29% [7], 7], China 27% [8] dan 32% [9] untuk di Afrika Selatan. Berbagai model dari sistem pemanas air domestik juga telah ada di pasaran. Akan tetapi biaya kerja operasional, kinerja dan efek terhadap lingkungan sangat beragam bergantung pada sumber energi yang digunakan, iklim dimana pemanas tersebut dioperasikan dan desain sistem pemanasnya sendiri. Sehingga pemilihan sistem pemanas air yang baik dapat secara signifikan memberikan efisiensi energi, memberikan kenyamanan pada lingkungan dan mengurangi biaya penggunaan energi.

Pada penelitian ini dipilih sistem pemanas air menggunakan Electric Water Heater (EWH) yang merupakan tahanan listrik yang bekerja dengan prinsip Hukum Joule untuk pemanasan. Keuntungan penggunaan [9] EWH adalah antara lain; lebih aman jika dibandingkan penggunaan pemanas air dengan sumber panas bahan bakar padat, cair maupun gas terkait dengan proses pembakaran. Operasionalnya tidak menghasilkan emisi lagi selain di pembangkit daya dan rugi-rugi panas yang terjadi dapat diminimalkan akibat pemakaian insulasi yang dapat lebih baik. Ketersediaan listrik sebagai sumber energi lebih besar dan mudah dibandingkan sumber energi lainnya. Dapat diletakkan dengan mudah pada hampir setiap sudut bangunan terutama berdekatan dengan tempat kebutuhan air panas diperlukan jika dibandingkan dengan pemanas yang bersumber dari bahan bakar cair, padat dan gas. Biaya operasional yang murah dan biasanya memiliki umur pakai yang lebih panjang dibandingkan dengan pemanas berbahan bakar cair, gas dan padat. Kerugian penggunaan EWH adalah pada sumber listrik yang dihasilkan oleh pembangkit yang umumnya masih menggunakan bahan bakar fosil sehingga menghasilkan polusi pada lingkungan, menipisnya cadangan energi fosil, mengubah energi dengan grade tinggi ke energi grade rendah serta efisiensi keseluruhan yang rendah. Ada kemungkinan besar terjadinya hubungan singkat antar pengkabelan yang memberikan resiko kebakaran.

Salah satu teknologi penyimpanan energi yang memiliki prospek cerah di masa depan adalah Phase Change Material (PCM) [10]. Penyimpanan kalor pada PCM mempunyai keunggulan pada kepadatan material dikarenakan heat of fusion pada proses peleburan jauh lebih besar daripada kalor

sensibel atau panas spesifiknya. PCM dapat dimanfaatkan salah satunya untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik pada pemanas air. Penggunaan PCM sebagai material dari tangki penyimpanan maka, temperatur maksimum dari air panas dapat dikontrol dan kapasitas dari penyimpanan panasnya dapat di naikkan [11]. PCM sebagai thermal storage juga dapat memperpanjang waktu operasional dari sistem yang menggunakan energi terbarukan terutama pada PCM yang diaplikasikan pada sistem pemanas. PCM sebenarnya telah banyak diaplikasikan pada berbagai keperluan seperti pemanas air domestik dengan kolektor surya, tangki penyimpanan, packed bed, penukar kalor dan pada ducting ventilasi [9]

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan thermal storage PCM Bees wax yang dimanfaatkan pada aplikasi pemanas air domestik. Penggunaan PCM bees wax sebagai thermal storage dipertimbangkan sangat sesuai pada temperatur pemanas air domestik. Pada temperatur 61°C bees wax akan mencair dengan menyerap kalor latent dan kemudian akan memberikan kalor latennya ke air sehingga waktu off heater bisa lebih lama. Karakteristik dari thermal storage yang ingin diketahui adalah lamanya PCM yang telah cair mampu mempertahankan temperatur air panas pada suhu yang telah ditetapkan. Sehingga besarnya panas yang harusnya disuplai oleh heater listrik untuk mempertahankan temperatur air panas mampu digantikan oleh PCM. Besarnya daya persatuan waktu diamati selama pemanasan dilakukan oleh PCM.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penyimpanan kalor (thermal storage) atau penyimpanan energi (energy storage) pada sebuah material dapat terjadi dalam tiga bentuk, yakni Sensibel Thermal Energy Storage (STES), Latent Thermal Energy Storage (LTES) dan Thermochemical Energy Storage. PCM merupakan LTES yang pada prinsipnya material penyimpan mengalami proses transformasi phase untuk melakukan penyimpanan energi atau pada saat melepas energi [2]. Sistem LTES memiliki tiga komponen yang harus dimiliki, yaitu (1) PCM sebagai material penyimpan panas, (2) selubung (kontainer) untuk penempatan PCM, (3) permukaan penukar panas sebagai perantara pertukaran panas dari PCM atau PCM ke objek yang dipanaskan. Dalam penyimpanan panas, sistem LTES memanfaatkan sejumlah penyimpanan kalor sensibel yang terletak di atas dan di bawah temperatur lebur dari PCM.

Pada proses perubahan phase, sejumlah energi yang cukup besar dapat disimpan pada bentuk kalor laten pada material. Sedangkan kalor sensibel biasanya disimpan sebagai perubahan temperatur. Sebagai contoh pada saat proses mencairnya PCM, materialnya akan mengalami transisi phase dari keadaan solid ke liquid dengan menyerap energi panas yang disuplai ke material tersebut. Kasus yang sama juga terjadi jika proses pendinginan berlangsung, dimana sejumlah energi meninggalkan material sehingga terjadi transisi phase dari cair ke padat. Energi yang tersimpan pada PCM merupakan penjumlahan dari enthalpy kalor latent pada temperatur transisi phase dan kalor sensibel yang disimpan pada saat perubahan temperatur dari proses penyimpanan energi. Maka, total panas yang dapat disimpan oleh sebuah material dapat dihitung dengan persamaan dibawah:

$$Q = \int_{T_i}^{T_m} mC_p dT + ma_m \Delta h_m + \int_{T_m}^{T_f} mC_p dT$$

$$Q = m[C_{sp}(T_m - T_i) + a_m \Delta h_m + C_{tp}(T_f - T_m)]$$

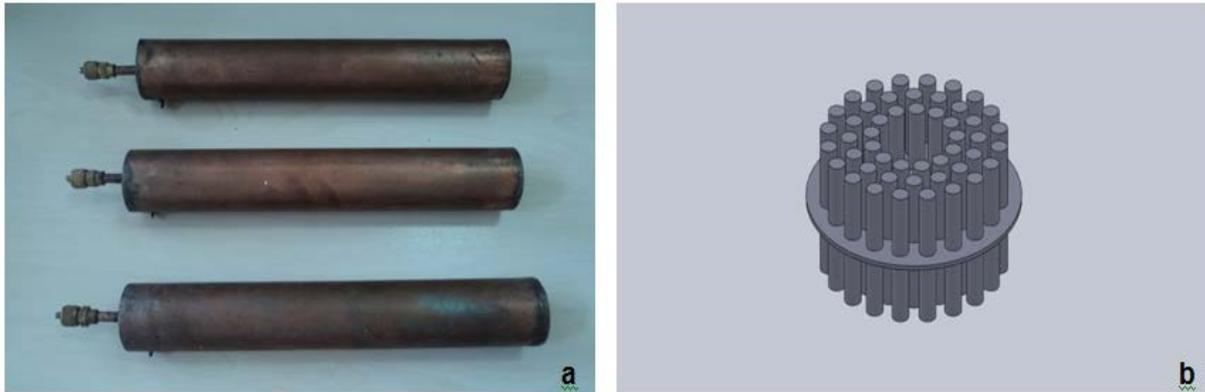
Bees wax yang merupakan senyawa ester (-COO-) tersusun dari asam lemak dan rantai alkohol yang panjang. Rumus empiris dari bee wax adalah C₁₅H₃₁COOC₃₀H₆₁. Senyawa ini terdiri dari palmitate, palmitoleate, hydroxypalmitate, ester oleat yang tersusun di dalam rantai panjang alkohol [20].

Tabel 1. Propertis PCM Bees Wax [12]

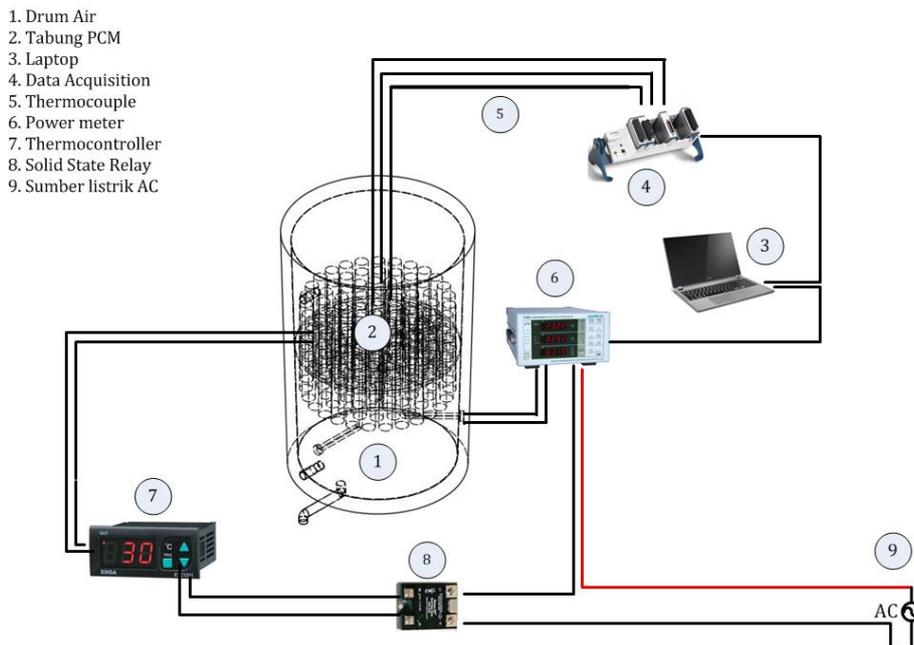
Propertis Bees Wax	Deskripsi
Melting Point	61.8°C
Discoloration	85°C
Flash Point	204.4°C
Density	0.970 g/cm ³
Color	Yellow

3. METODE

Penelitian ini dilakukan di lab Applied Heat Transfer Research Group, Departement Teknik Mesin Universitas Indonesia. Sebuah sistem pemanasan air didalam drum menggunakan heater listrik (EWH) dibuat untuk pengujian. Sejumlah PCM diletakkan didalam drum sebagai thermal storage. Kontainer PCM dibuat dari pipa tembaga dengan diameter luar 41,3 mm dengan kedua ujung pipa ditutup dengan plat tembaga dan pada salah satu ujung diberikan katup akses untuk pengisian. Bentuk kontainer PCM berupa silinder dengan diameter dalam 38,1 mm dan panjang 260 mm seperti terlihat pada gambar 2. Jumlah tabung yang diuji menjadi variabel terikat dalam penelitian yang menunjukkan masa PCM yang digunakan sebagai thermal storage. Masing-masing berat dari tabung PCM kemudian dihitung menggunakan dtimbangan digital. Pengujian dilakukan dengan menguji lima variasi massa PCM yakni 3 kg, 5 kg, 7 kg, 9 kg dan 10.5 kg. Material PCM yang digunakan adalah bees wax, karena memiliki temperatur leleh pada 61,8 °C (Tabel 1).



Gambar 2a. Kontainer PCM dengan bahan material tembaga, 2b. Susunan tabung kontainer didalam drum pemanas air.



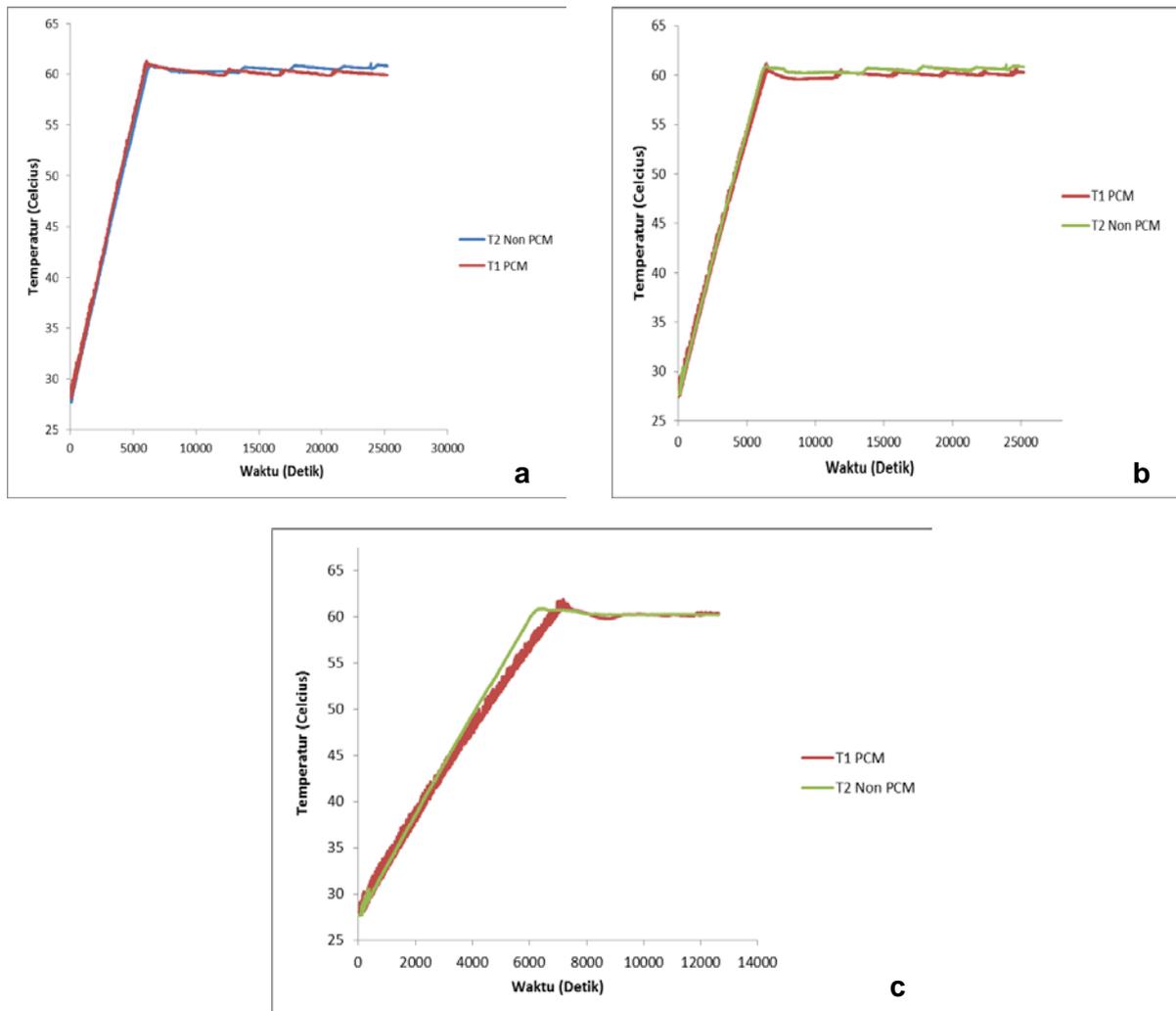
Gambar 3 Skematik Pengujian

Besarnya volume air yang dipanaskan didalam drum sebesar 100 liter. Pada dinding drum diberikan isolasi polyurethane dengan ketebalan 3 cm dan dilapisi kembali dengan plat BJLS 80 (tebal 8 mm) . Pada drum dipasang 3 (tiga) buah pemanas listrik dengan daya masing-masing 1000 Watt. Masing-masing heater diberikan supply daya melalui Solid Stated Relay (SSR) yang dikontrol oleh Thermokontroler. Penggunaan SSR dan Thermokontroler dimaksudkan untuk mengontrol temperatur pemanasan air sampai pada level temperatur 65°C. Jika temperatur setting air didalam drum pemanas air telah tercapai maka supply daya dari heater akan diputus. Pengujian dilakukan dengan mengukur penggunaan daya listrik dari heater selama proses pemanasan. Dengan membandingkan

penggunaan daya pada masing-masing pengujian ini akan didapatkan grafik penggunaan daya versus waktu yang kemudian akan dianalisis untuk mengetahui performa PCM sebagai thermal storage pada drum pemanas air. Pengukuran temperatur air menggunakan termokopel type K dan data akuisisi dengan modul thermocouple NI-9211 dan chassing NI-cDAQ 9174 dengan menggunakan software LabView 8.5. Pengukuran daya menggunakan Integra Ri3 Digital metering system. Akurasi dari pengukuran daya oleh metering system sebesar $\pm 1\%$ dari range maksimum pengukuran. Gambar skematik pengujian diperlihatkan pada gambar 3.

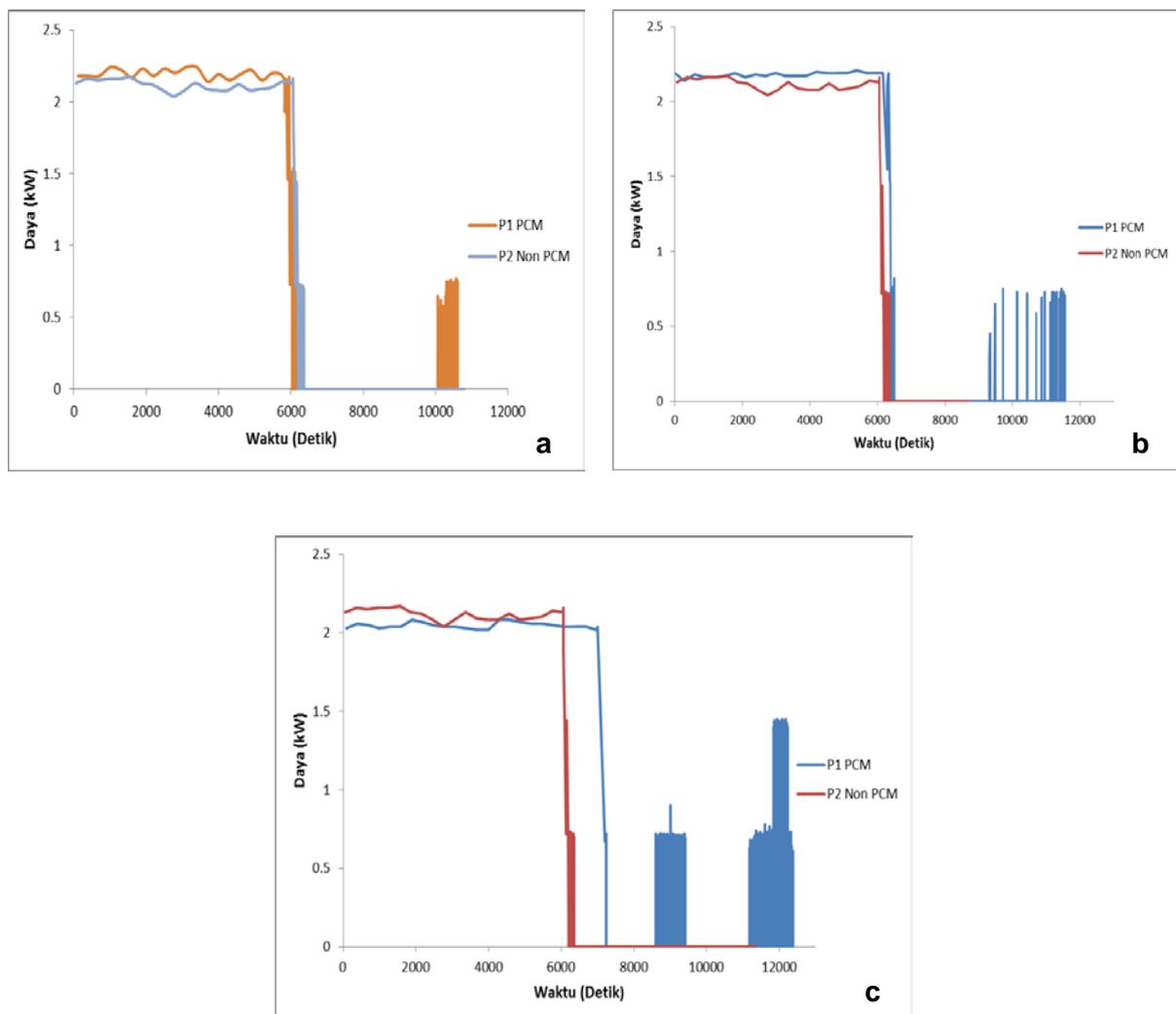
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari hasil pengujian didapatkan beberapa grafik yang selanjutnya akan dianalisa untu mengetahui perbandingan kinerja dari peralatan sistem pemanas air domestik dengan menggunakan PCM dan tanpa menggunakan PCM (non PCM). Hasil grafik pengukuran temperatur yang dilakukan didapatkan hasil pemanasan dengan massa PCM untuk mencapai temperatur leleh (61°C) terbesar 7,3 kg (Gambar 4c) didapatkan lama pemanasan yang terlama yakni 7000 detik (1,94 jam). Sedangkan pada pemanasan dengan masa PCM 1,9 kg dan 5,1 kg (Gambar 4 a dan 4b) masing-masing dilakukan selama 1,66 jam dan 1,75 jam berturut-turut. Untuk pengujian pemanasan air tanpa menggunakan PCM didapatkan sebesar 1,73 jam untuk mencapai temperatur yang sama. Hal ini menandakan bahwa PCM dengan massa terbesar membutuhkan lama pemanasan yang lebih besar dikarenakan massa dari zat (air dan PCM) lebih besar. Pada PCM dengan masa 7,3 kg juga didapatkan pencapaian temperatur setting yang lebih lama dibandingkan dengan pengujian tanpa PCM yakni 16 menit dan 3 detik lebih lama.



Gambar 4 Grafik Temperatur air pada a) Pemanasan pada drum dengan PCM 1,9 kg tabung b) PCM dengan 5,1 kg dan c) Massa PCM 7,3 kg

Hasil yang diperlihatkan pada grafik menyatakan bahwa daya yang dibutuhkan untuk pemanasan menggunakan PCM selalu lebih besar dibandingkan tanpa PCM. Hal ini mungkin diakibatkan karena PCM belum mencair sepenuhnya sehingga masih terjadi perpindahan kalor dari air panas ke PCM yang mengakibatkan konsumsi heater tidak dapat diminimalkan dibandingkan dengan penggunaan pemanasan air tanpa PCM. Pada grafik dapat dilihat bahwa konsumsi listrik pada pengujian menggunakan PCM dengan semua variasi masa terdapat konsumsi daya listrik berselang-seling (on-off) setelah temperatur setting tercapai. Hal ini mungkin diakibatkan karena temperatur air turun karena penyerapan panas oleh tabung PCM yang belum mencair sepenuhnya. Fenomena penyerapan kalor juga dapat dilihat dari data waktu penundaan hidupnya heater. Masa PCM yang yang terbesar akan menyerap kalor paling besar dari air, sehingga terpicunya heater untuk "on" kembali akan lebih cepat. Hal ini dapat dilihat pada grafik yakni penundaan heater "on" paling lama terjadi pada penggunaan masa PCM 1,9 kg yakni sebesar 1,1 jam (1 jam 6 menit 40 detik). Penundaan heater on pada dua masa PCM lainnya adalah sebesar 0,38 jam (22 menit 51 detik) dan 0,78 jam (46 menit 56 detik) untuk 5,1 dan 7,3 kg. Pada tabel 2 juga dihitung daya total yang digunakan selama masa pemanasan dan operasional pengujian didapatkan bahwa daya untuk penggunaan PCM selalu lebih besar dibandingkan dengan tanpa PCM. Hal ini mungkin menyatakan bahwa penggunaan PCM lebih sesuai untuk mempertahankan suatu kondisi steady dari sistem dibandingkan dengan efisiensi energi. Sehingga penggunaan PCM dengan untuk pemanasan air domestik dapat dimanfaatkan untuk menjaga temperatur air pada saat penggunaan listrik pada waktu beban puncak (WBP).



Gambar 4 Grafik Penggunaan Daya Listrik (kW) versus waktu pada a) Pemanasan pada drum dengan PCM 1,9 kg tabung b) PCM dengan 5,1 kg dan c) Massa PCM 7,3 kg

Tabel 2 Penggunaan daya total pada pemanasan dengan dan tanpa PCM

Pengujian (kg PCM)	Daya Total PCM (J)	Daya Total Non PCM (J)
1,9	12937,03	12898,58
5,1	13886,85	12898,58
7,3	14803,76	12898,58

5. SIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yakni antara lain:

1. Temperatur maksimum air yang dicapai pada semua pengujian rata-rata 60,8°C. Pada pengujian dengan massa PCM terbesar 7,3 kg terjadi waktu pemanasan yang paling lama yakni 1,94 jam.
2. Penundaan waktu hidup heater oleh pemanas air dengan PCM paling lama diberikan oleh masa PCM 1,9 kg yakni sebesar 1 jam 6 menit 40 detik.
3. Pada pengujian menggunakan PCM terdapat penggunaan daya (on/off) untuk mempertahankan temperatur air panas sebesar 60,8C. Penggunaan heater ini membuat konsumsi daya pada penggunaan PCM lebih besar dibandingkan tanpa PCM.
4. Penggunaan daya pada pengujian 1,9 kg lebih besar 2,98% dibandingkan dengan pemanasan tanpa PCM. Pada pengujian 5,1 kg dan 7,3 kg m

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas pendanaan penelitian yang diberikan oleh DRPM UI melalui "Hibah PUPT 2015 UI"

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Wang, S. He, S. Guo, J. Yan, and J. Ding, "A combined experimental and simulation study on charging process of Erythritol–HTO direct-blending based energy storage system," *Energy Conversion and Management*, vol. 83, pp. 306-313, 2014.
- [2] S. Kalaiselvam and R. Parameshwaran, *Thermal Energy Storage Technologies for Sustainability: Systems Design, Assessment and Applications*: Elsevier, 2014.
- [3] B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, and L. A. Meyer, "Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change," 2007.
- [4] D. Bosseboeuf, "Energy efficiency trends and policies in the household & tertiary sectors in the EU 27," *Results from the ODYSSEE/MURE project*, Paris, 2009.
- [5] C. Aguilar, D. White, and D. L. Ryan, "Domestic water heating and water heater energy consumption in Canada," *Canadian Building Energy End-Use Data and Analysis Centre*, 2005.
- [6] C. W. Australia, *Low carbon growth plan for Australia: ClimateWorks Australia Clayton*, 2010.
- [7] J. A. Rosas-Flores, D. Rosas-Flores, and D. M. Gálvez, "Saturation, energy consumption, CO 2 emission and energy efficiency from urban and rural households appliances in Mexico," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 10-18, 2011.
- [8] N. Zhou, M. A. McNeil, D. Fridley, J. Lin, L. Price, J. Sathaye, et al., "Energy use in China: sectoral trends and future outlook," *Lawrence Berkeley National Laboratory*, 2008.
- [9] O. Ibrahim, F. Fardoun, R. Younes, and H. Louahlia-Gualous, "Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects," *Building and Environment*, vol. 72, pp. 259-286, 2014.
- [10] A. Sharma, V. Tyagi, C. Chen, and D. Buddhi, "Review on thermal energy storage with phase change materials and applications," *Renewable and Sustainable energy reviews*, vol. 13, pp. 318-345, 2009.

- [11] M. A. Sharif, A. Al-Abidi, S. Mat, K. Sopian, M. Ruslan, M. Sulaiman, et al., "Review of the application of phase change material for heating and domestic hot water systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, pp. 557-568, 2015.
- [12] R. Ramnanan-Singh, "Formulation & Thermophysical Analysis of a Beeswax Microemulsion & The Experimental Calculation of its Heat Transfer Coefficient," City University of New York, 2012.