

Potensi Minyak Kelapa sebagai Media Penyimpan Kalor Laten (Studi Kasus: Analisa Lepas Kalor pada Proses Solidifikasi)

Widya Arisya Putri*, I. M. Sutjahja, D. Kurnia, S. Wonorahardjo

Abstrak

Masyarakat Indonesia masih memiliki ketergantungan yang tinggi pada energi yang bersumber dari fosil, karena perkembangan energi baru dan terbarukan masih belum banyak berperan, oleh karena itu konservasi energi mutlak dilakukan di Indonesia terutama untuk aspek pengkondisian udara bangunan (AC). Minyak kelapa dengan rumus kimia $CH_3(CH_2)_{2n}COOH$ memiliki sifat-sifat fisis yang dapat digunakan sebagai bahan penyimpanan energi termal yang dalam skala besar dapat menggantikan fungsi kerja air conditioner sehingga dapat menurunkan konsumsi energi listrik di Indonesia. Untuk itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menghitung efektifitas penyimpanan dan pelepasan kalor oleh minyak kelapa sebagai upaya pengkondisian temperatur udara. Penelitian ini secara khusus menguji efektifitas lepasan kalor selama proses solidifikasi. Perhitungan kalor yang dilepas dilakukan dengan metode perhitungan luasan grafik dan dengan menggunakan persamaan kalor untuk fase sensibel cair (fase I), fase transisi cair-padat (fase II), dan fase sensibel padat (fase III). Pengukuran menggunakan satu buah termometer etanol. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan persentase menggunakan perhitungan luasan grafik untuk masing-masing fase I, fase II, dan fase III berturut-turut adalah 13,93%, 62,52%, 23,55%. Sedangkan persentase menggunakan persamaan kalor untuk masing-masing fase I, fase II, dan fase III berturut-turut adalah 3,55%, 87,57%, 8,88%. Dari data tersebut tampak bahwa minyak kelapa memiliki potensi penyimpan kalor paling besar pada fase laten.

Kata-kata kunci: sistem penyimpan energi termal, minyak kelapa, kalor sensibel, kalor laten

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara beriklim tropis, di mana intensitas matahari cukup tinggi sepanjang tahun. Salah satu akibatnya adalah tingkat pemanasan yang cukup tinggi di dalam ruang, sehingga diperlukan sistem penyejuk udara (AC) untuk mencapai kenyamanan termal. Namun, alat penyejuk udara tersebut menghabiskan banyak energi serta memberikan efek negatif pada lingkungan baik secara langsung maupun tidak langsung seperti pemanasan lokal dan global. Oleh karena itu perlu dicari sistem penyejuk udara alternatif yang hemat energi untuk menggantikan fungsi AC / penyejuk udara mekanik. Indonesia memiliki banyak sumber daya alam yang dapat digunakan sebagai bahan sistem penyejuk udara, salah satunya adalah minyak kelapa. Berdasarkan kajian dan eksperimen yang dilakukan oleh Mettawee tentang penghematan konsumsi energi operasional pada bangunan melalui pemanfaatan minyak kelapa sebagai sistem penyimpan energi laten [1] dilakukan penelitian lebih lanjut tentang banyaknya kalor yang dapat disimpan pada sejumlah minyak kelapa. Minyak kelapa memiliki sifat-sifat fisis yang sesuai sebagai bahan penyimpan energi termal pada bangunan di lingkungan tropis sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai penyejuk udara ruang di saat siang hari atau udara bertemperatur tinggi dan sebagai

penghangat udara ruang saat malam hari atau saat temperatur udara rendah yang dalam skala besar diharapkan dapat menggantikan fungsi kerja penyejuk udara mekanik sehingga dapat menekan konsumsi energi listrik di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati kemampuan minyak kelapa sebagai sistem penyimpan energi termal. Secara khusus, pada kajian eksperimen ini diamati proses solidifikasi pada minyak kelapa untuk mendapatkan data temperatur solidifikasi dalam selang waktu tertentu untuk selanjutnya dihitung besarnya kalor yang dilepas. Perhitungan kalor yang dilepas oleh minyak kelapa dilakukan dengan menggunakan dua metode, yang pertama menggunakan metode perhitungan luasan grafik dan yang kedua dengan persamaan kalor. Metode perhitungan luasan kurva dipilih karena dianggap menggambarkan kondisi nyata seperti yang diperlihatkan oleh hasil eksperimen, Perhitungan menggunakan persamaan digunakan sebagai pembanding hasil tersebut dengan teori.

Teori

Penyimpan energi termal atau kalor adalah sistem atau media yang digunakan untuk menyimpan kalor dari lingkungan ke dalam sistem penyimpan. Penyimpan energi kalor bekerja saat temperatur lingkungan lebih tinggi dari sistem dan berlaku sebaliknya. Kualitas

penyimpan energi kalor sangat bergantung pada karakteristik bahan yang digunakan. Sistem penyimpanan energi kalor terbagi menjadi dua, yaitu sistem penyimpanan kalor sensibel dan sistem penyimpanan kalor laten. Sistem penyimpanan kalor sensibel bekerja pada fase perubahan temperatur dari material, sedangkan sistem penyimpanan kalor laten bekerja pada fase perubahan wujud zat (padat-cair, cair-gas, padat-gas, atau sebaliknya). Material yang dimanfaatkan sebagai penyimpan kalor laten dikenal sebagai *phase change material* (PCM) [2].

Pada fase sensibel, kalor yang disimpan dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Q = mc\Delta T \quad (1)$$

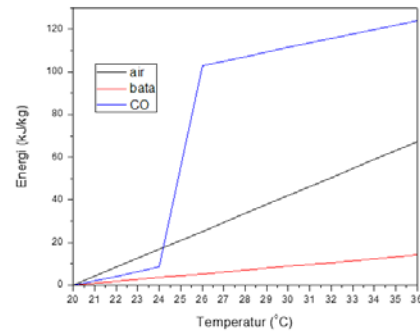
sedangkan untuk fase laten, kalor yang disimpan dapat dihitung melalui persamaan:

$$Q = mL \quad (2)$$

dengan Q adalah kalor yang dibutuhkan atau dilepaskan selama perubahan fase, m merupakan massa zat, ΔT merupakan perubahan temperatur dan L adalah kalor laten proses dan zat tertentu, c merupakan kalor jenis zat dengan asumsi bahwa c adalah suatu nilai konstan, bukan fungsi dari temperatur. Untuk fase sensibel padat, maka yang digunakan adalah c fase padat, sedangkan untuk fase sensibel cair, maka yang digunakan adalah c fase cair [3].

Minyak kelapa tersusun dari sejumlah asam lemak (*fatty acid*) dengan rumus kimiawi $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ dengan prosentase jumlah atau komposisi: asam caprylic (C_8) 9%, Decanonic(C_{10}) 10%, asam Lauric (C_{12}) 52%, asam myristic (C_{14}) 19%, asam palmitic (C_{16}) 11%, dan asam oleic tak tersaturasi (C_{18}) 8% [4]. Minyak kelapa memiliki karakteristik fisis temperatur melting sebesar 26°C . Kalor laten minyak kelapa sebesar $103,5 \text{ kJ/kg}$ dan kalor jenis minyak kelapa sebesar $2100 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ [1,4]. Nilai temperatur melting ini berada dalam rentang zona nyaman manusia di daerah tropis [5]. Selain itu minyak kelapa juga memiliki subcooling yang sangat rendah sehingga proses transisi fase padat-cair atau sebaliknya dapat terjadi secara *reversible* di sekitar temperatur melting. Minyak kelapa juga bersifat non-korosif sehingga cocok dengan berbagai jenis wadah atau kontainer logam atau non-logam. Sisi negatif dari minyak kelapa yang perlu diperhitungkan untuk aplikasinya adalah konduktivitas termal yang kurang baik, sehingga dapat menghambat proses serapan dan lepasan kalor oleh dan dari sampel.

Gambar 1 berikut menunjukkan perbandingan potensi serapan/lepasan kalor oleh minyak kelapa, air dan batu bata [6].

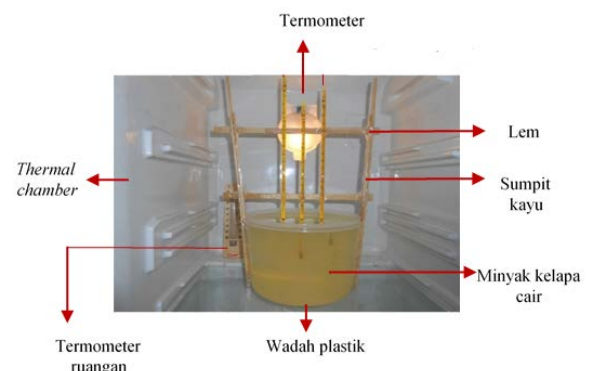


Gambar 1. Perbandingan potensi serapan/lepasan kalor oleh minyak kelapa, air dan batu bata

Dari gambar tersebut terlihat bahwa dalam rentang temperatur $20-50^\circ\text{C}$, air dan batu bata berperan sebagai sistem penyimpan kalor sensibel. Di sisi lain, selain menyimpan kalor sensibel minyak kelapa juga menyimpan kalor laten yang cukup besar di sekitar temperatur *melting*-nya.

Material dan Metode

Minyak kelapa dengan merk komersial diperoleh dari supermarket lokal di Bandung, Indonesia. Sampel dengan jumlah sekitar 1,5 lt ditempatkan dalam wadah plastik. Bagian tengah dari sampel ditempatkan termometer etanol yang akan dipakai utk mengukur temperatur minyak kelapa. Sistem ditempatkan dalam *thermal chamber* yang temperaturnya diatur pada pendinginan maksimum. Gambar 2 menunjukkan foto setup eksperimen yang dilakukan.



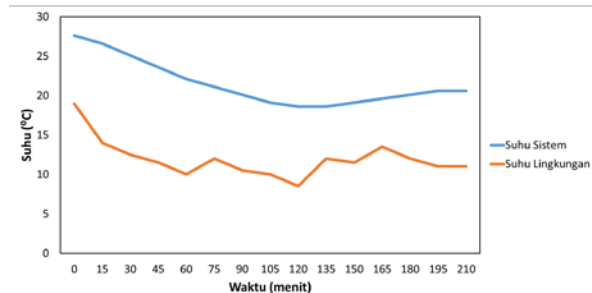
Gambar 2. Rancangan eksperimen solidifikasi minyak kelapa

Metode yang dilakukan pada eksperimen ini adalah mengukur temperatur yang terbaca pada minyak kelapa dan temperatur ruangan setiap 15

menit. Kalibrasi kedua termometer dilakukan secara konvensional sebelum eksperimen dimulai, yaitu nilai temperatur yang sama dari kedua termometer untuk beberapa keadaan ekstrim yang berbeda. Pengambilan data dilakukan sampai keseluruhan minyak kelapa di dalam wadah membeku dengan sempurna. Pengolahan data dilakukan melalui perangkat lunak Excell dan Origin Pro 8. Perhitungan potensial lepasan kalor oleh minyak kelapa dilakukan dengan menghitung luasan diantara grafik temperatur minyak kelapa dan grafik temperatur *thermal chamber* sebagai lingkungan. Selain itu, dilakukan pula perhitungan kalor dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) sebagai perbandingan dengan teori yang ada, masing-masing untuk kalor yang terlibat pada fase sensibel dan fase laten.

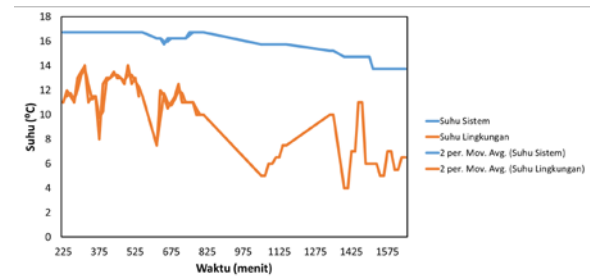
Hasil dan diskusi

Proses solidifikasi dilakukan sampai seluruh minyak kelapa cair membeku seutuhnya dan mencapai kesetimbangan termal, yaitu temperatur yang ditunjukkan oleh termometer yang ditempatkan dalam minyak kelapa dan termometer ruangan tidak jauh berbeda dan sudah stabil, dimana tidak terjadi lagi perubahan temperatur dan pertukaran kalor. Proses ini berlangsung selama ± 2805 menit dan terbagi menjadi fase I, fase II, dan fase III. Pembagian fase didasarkan pada perbedaan gradien grafik dari data yang didapatkan. Grafik berwarna biru merupakan grafik termometer minyak kelapa sebagai sistem sedangkan grafik berwarna oranye merupakan grafik temperatur lingkungan atau *thermal chamber*. Gradien grafik menggambarkan kecepatan sistem melepaskan kalor. Sistem yang cepat menyimpan kalor juga cepat melepaskan kalor. Grafik dengan gradien yang besar mengalami perubahan temperatur dengan cepat dalam waktu yang singkat dalam pelepasan kalor. Sebaliknya, grafik dengan gradien yang kecil mengalami perubahan temperatur yang lebih lambat, sehingga diperlukan waktu yang lama dalam pelepasan kalor.



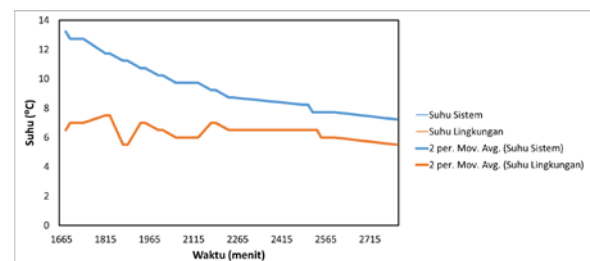
Gambar 3(a). Fase sensibel cair (fase I) pada proses solidifikasi minyak kelapa

Fase I seperti tampak pada gambar 3(a), disebut juga fase sensibel cair dimana secara teori merupakan fase terjadinya perubahan temperatur sistem dan belum terjadi perubahan wujud zat. Temperatur lingkungan tampak berfluktuasi, ini diduga akibat sampel dimasukkan ke dalam *thermal chamber* sebelum temperaturnya mencapai keadaan stabil, atau pengambilan data dalam selang waktu yang cukup singkat, yaitu setiap ± 15 menit, dengan cara membuka-tutup pintu *thermal chamber*, sehingga temperaturnya menjadi naik-turun dan tidak stabil.



Gambar 3(b). Fase transisi cair-padat (fase II) pada proses solidifikasi minyak kelapa

Fase II yang ditunjukkan oleh gambar 3(b) merupakan fase laten dimana pada fase ini secara teori tidak terjadi perubahan temperatur melainkan terjadi perubahan wujud zat dari cair menjadi padat. Namun setelah dilakukan eksperimen ternyata masih terjadi perubahan temperatur walaupun tidak signifikan seperti pada fase I. Hal ini disebabkan karena minyak kelapa merupakan campuran dari banyak komposisi seperti asam laurat, asam myristik, asam palmitik, dan masih banyak lainnya, dimana masing-masing asam lemak tersebut memiliki temperatur *melting* yang berbeda-beda. Ini mengakibatkan ketika minyak kelapa memasuki fase laten, fase sensibel masih ikut terlibat sehingga masih terjadi perubahan temperatur.



Gambar 2(c). Fase sensibel padat (fase III) pada proses solidifikasi minyak kelapa

Dari eksperimen solidifikasi minyak kelapa tersebut dilakukan perhitungan jumlah kalor yang dilepaskan (dalam bentuk nilai mutlak dan prosentase) untuk masing-masing fase dengan metode perhitungan luasan grafik menggunakan

bantuan software Origin Pro 8, dan hasilnya ditampilkan dalam Tabel 1 berikut. Di sisi lain, Tabel 2 menampilkan hasil perhitungan yang sama dengan menggunakan persamaan (1) dan (2).

Tabel 1. Jumlah kalor pada setiap fase untuk masing-masing termometer dengan perhitungan luasan grafik menggunakan Origin Pro 8 pada proses solidifikasi

Batas Fase (menit)	Jumlah Kalor (K.s)	Potensial Lepas Kalor (%)
Fase I (0-210)	2016	13,93
Fase II (225-1650)	9048,3	62,52
Fase III (1665-2805)	3408,45	23,55
Total (0-2805)	14472,75	100

Tabel 2. Jumlah kalor pada setiap fase untuk masing-masing termometer dengan menggunakan persamaan (1) dan (2)

Batas Fase (menit)	Jumlah Kalor (K.s)	Potensial Lepas Kalor (%)
Fase I (0-210)	4200	3,55
Fase II (225-1650)	103500	87,57
Fase III (1665-2805)	10500	8,88
Total (0-2805)	118200	100

Dari data pada Tabel 1 dan Tabel 2 di atas terlihat bahwa persentase potensi lepasan kalor terbesar dari minyak kelapa adalah pada fase II, yaitu fase laten yang merupakan fase transisi cair menjadi padat. Data ini membuktikan secara kuantitatif bahwa selama proses solidifikasi, minyak kelapa berpotensi paling besar sebagai media penyimpan kalor pada fase laten.

Kesimpulan

Pada makalah ini telah dilakukan perhitungan potensial lepasan kalor oleh minyak kelapa ke lingkungan dengan menggunakan 2 metode, yaitu metode luasan grafik dengan menggunakan software Origin Pro 8 dan dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2), masing-masing untuk kalor yang terlibat pada fase sensibel dan fase laten. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa minyak kelapa berpotensi melepaskan kalor dalam jumlah paling banyak pada fase II yaitu dalam bentuk kalor laten yang melibatkan perubahan wujud cair-padat atau solidifikasi. Perbedaan nilai mutlak dari prosentase lepasan kalor minyak kelapa dengan 2 metoda disebabkan oleh tercampurnya fase laten dan fase sensibel secara eksperimen, yaitu transisi fase cair-padat yang melibatkan perubahan temperatur akibat temperatur melting yang berbeda-beda dari beberapa asam lemak penyusun minyak kelapa.

Sebagai kesimpulan akhir dapat disebutkan bahwa minyak kelapa memiliki parameter termofisika yang cocok untuk digunakan sebagai sistem penyimpan energi termal. Pemanfaatan minyak kelapa sebagai penyimpan energi termal

dalam skala besar dapat digunakan sebagai sistem pengkondisian udara ruang dalam kehidupan sehari-hari untuk menggantikan kerja dari mesin penyejuk ruangan (air conditioner) dalam rangka penghematan energi listrik dan konservasi energi.

Referensi

- [1] E. Mettawee dan A. Ead, "Energy Saving in Building with Latent Heat Storage," Int. J. of Thermal & Environmental Engineering, vol. 5 no 1, no, Environmental engineering, pp. 21-30, 2013.
- [2] I. Dincer dan M. Rosen, 2010, "Energy Storage System and Applications", Ontario. Canada: A John Wiley and Sons, Ltd., Publication.
- [3] Zemansky, M. W & Dittman, R. H., 1997, "Heat and Thermodynamics", Singapore: McGraw-Hill.
- [4] Tatsawan Tipvarakarnkoon, Reinhard Blochwitz and Bernhard Senge, "Rheological properties and phase change behaviors of coconut fats and oils", Annual Transactions of the Nordic Rheology Society, Vol. 16, 2008.
- [5] O. H. Koenigsberger, T. G. Ingersoll, A. Mayhew, And S. V. Szokolay, 1974, Manual of Tropical Housing and Building, Longman, London, 320 pp.
- [6] Mehling, Harald dan L. F. Cabeza, "Heat and Cold Storage with PCM An Up to Date Introduction Into Basics and Applications", Berlin, Germany: Springer, 2008.

Widya Arisya Putri*
Magister Pengajaran Fisika
Institut Teknologi Bandung
widyaarisya@gmail.com

Inge Magdalena Sutjahja
KK Magnetik dan Fotonik, FMIPA
Institut Teknologi Bandung
inge@fi.itb.ac.id

Daniel Kurnia
KK Magnetik dan Fotonik, FMIPA
Institut Teknologi Bandung
daniel@fi.itb.ac.id

Surjamanto Wonorahardjo
KK Teknologi Bangunan, SAPPK
Institut Teknologi Bandung
titus@ar.itb.ac.id

*Corresponding author