KAJI EKSPERIMENTAL SIFAT TERMAL MINYAK JELANTAH UNTUK APLIKASI PENYIMPANAN ENERGI TERMAL

(Skripsi)

Oleh

Ahmad Rizki Diva Putra

NPM 1755021005

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2021

ABSTRAK

KAJI EKSPERIMENTAL SIFAT TERMAL MINYAK JELANTAH UNTUK APLIKASI PENYIMPANAN ENERGI TERMAL

Oleh

AHMAD RIZKI DIVA PUTRA

Minyak jelantah adalah minyak goreng yang telah digunakan beberapa kali dalam penggorengan, Minyak jelantah tidak jauh berbeda dengan minyak goreng baru yang berasal dari minyak kelapa karena masih memiliki senyawa asam lemak pembentuk yang hampir sama. PCM dari minyak jelantah yang membantu dalam pendinginan ruangan sehingga dapat memberikan nilai tambah terhadap minyak jelantah, dapat mengurangi dampak lingkungan dari limbah tersebut dan tidak mengalami konflik kepentingan dalam penggunaannya.

Material berubah fasa merupakan sebuah material yang dapat menyerap dan melepaskan energi panas dalam jangka waktu yang lama tanpa mengalami perubahan temperatur dan ditandai dengan perubahan fasa. Pengujian sifat termal dilakukan dengan : metode T-History, *Differential Scanning Chalorimetry* disingkat DSC, dan pengujian konduktivitas termal, Pengujian komposisi senyawa PCM dilakukan dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC). Hasil dari penelitian ini didapatkan perubahan fasa proses pendinginan pada minyak jelantah kelapa murni diperoleh data proses pembekuan dari 21,8°C sampai 19,2°C, selanjutnya proses pelelehan dari 13,3°C sampai 25,4 °C, untuk nilai panas laten yaitu 97,76 KJ/Kg, selanjutnya nilai konduktivitas termal 0,155 W/mK. Sedangkan untuk minyak jelantah kelapa sawit adalah sebagai berikut, proses pembekuan dari 18,4°C sampai 0,6°C, selanjutnya proses pelelehan dari 5,2 °C sampai 7°C, untuk nilai panas laten yaitu 43,68 KJ/Kg, selanjutnya nilai konduktivitas termalnya 0,154 W/mK.

Kata Kunci: Minyak Jelantah, PCM

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY OF THE THERMAL PROPERTIES OF WASTE COOKING OIL FOR THERMAL ENERGY STORAGE APPLICATIONS

By

AHMAD RIZKI DIVA PUTRA

Waste cooking oil is that has been used several times in frying. Waste cooking oil is not much different from new oil derived from coconut oil because it still has almost the same fatty acid-forming compounds. PCM from used cooking oil which helps in cooling the room so that it can provide added value to used cooking oil, can reduce the environmental impact of the waste and does not experience a conflict of interest in its use.

A phase change material is a material that can absorb and release heat energy for a long period of time without undergoing a change in temperature and is characterized by a phase change. Thermal properties were tested by: T-History method, Differential Scanning Chalorimetry abbreviated as DSC, and thermal conductivity testing. The composition of PCM compounds was tested using Gas Chromatography (GC). The results of this study showed that the phase change of the cooling process in virgin coconut used cooking oil obtained data on the freezing process from 21.8°C to 19.2°C, then the melting process from 13.3°C to 25.4°C, for the heat value latent is 97.76 KJ/Kg, then the thermal conductivity value is 0.155 W/mK. Meanwhile, for used cooking palm oil, the freezing process is from 18.4°C to 0.6°C, then the melting process is from 5.2°C to 7°C, for the latent heat value of 43.68 KJ/Kg , then the thermal conductivity value is 0.154 W/mK.

Keywords : Waste Cooking Oil, PCM

KAJI EKSPERIMENTAL SIFAT TERMAL MINYAK JELANTAH UNTUK APLIKASI PENYIMPANAN ENERGI TERMAL

Oleh

Ahmad Rizki Diva Putra

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Program Studi S1 Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021

Judul Skripsi	: **KAJI EKSPERIMENTAL SIFAT TERMAL MINYAK JELANTAH UNTUK APLIKASI PENYIMPANAN ENERGI TERMAL**
Nama Mahasiswa	: *Ahmad Rizki Diva Putra*
Nomor Pokok Mahasiswa	: **1755021005**
Jurusan	: **Teknik Mesin**
Fakultas	: **Teknik**

MENYETUJUI

Komisi Pembimbing 1

Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.
NIP 19711214 200012 1 001

Komisi Pembimbing 2

M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng.
NIP 19801001 200812 1 001

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP 19710331 199903 1 003

Kepala Program Studi
S1 Teknik Mesin

Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP 19701104 199703 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Penguji : **Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.**

Anggota Penguji : **M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng.**

Penguji Utama : **Agus Sugiri, S.T., M.Eng.**

2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **22 November 2021**

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR NO. 13 TAHUN 2019.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN

AHMAD RIZKI DIVA PUTRA
NPM. 1755021005

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Padang, Sumatera Barat pada tanggal 2 Maret 1999 sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Hardhi, S.Sos. dan Ibu Surya Musfarita, S.Pd.

Penulis menempuh Pendidikan sekolah dasar SD ADZKIA Kota Padang pada tahun 2005 - 2011, kemudian penulis melanjutkan Pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 8 Kota padang pada tahun 2011-2014. Penulis melanjutkan Pendidikan menengah atas di SMA ADABIAH Kota Padang 2014-2017. Pada tahun 2017 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik (FT) Universitas Lampung (UNILA) dan melaksanakan kuliah di perguruan tinggi hingga meraih Sarjana Teknik (S.T.) pada tahun 2021

Selama menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Mesin FT UNILA, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) FT UNILA sebagai Anggota Muda Baru periode 2017 - 2018, Anggota Bidang minat dan bakat Divisi Olahraga periode 2019 – 2020, dan Anggota Divisi Kreativitas periode 2020-2021.. Pada awal tahun 2020 penulis melakukan Kerja Praktek di P.T. Semen Padang topik yang dibahas “Perhitungan Efisiensi *Feeding Mill* 4Z2 di *Cement Mill* Indarung IV PT. Semen Padang”. Pada tahun 2020 pertengahan penulis mulai melakukan penelitian dengan Kajian Eksperimental Sifat Termal Minyak Jelantah Untuk Aplikasi Penyimpanan Energi Termal. dibawah bimbingan Bapak dibawah bimbingan Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. Selaku Pembimbing utama dan Bapak Dyan Susila ES, S.T., M.Eng sebagai pembimbing kedua penulis.

Motto

Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui. Al-Baqarah Ayat 216

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

Al Insyirah Ayat 6

Jadilah seperti padi semakin berisi semakin merunduk

If you don't go after what you want, you'll never have it. And if you don't ask, the answer is always no. Also if you don't step forward, you're always in the same place."
Nora Roberts

Believe in yourself and all that you are. Know that there is something inside you that is greater than any obstacle." - Christian D. Larson

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatu

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karna atas rahmat, hidayah, dan lindungannya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dan menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar dan tetap dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam tak lupa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umatnya menuju kehidupan yang berakhlak dan berilmu yang baik sehingga dapat menjalani kehidupan dengan baik dan benar. Skripsi ini dibuat sebagai sebuh karya tulis yang merupakan hasil dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu di bidang energi, terkhusus dalam bidang pendingin. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Semoga karya tulis ini dapat membawa manfaat bagi pembacanya dan dapat dikembangkan lebih jauh lagi.

Selesainya skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Hardhi, S.Sos. dan Surya Musfarita, S.Pd. yang selalu mendampingi dan mendoakan penulis sehingga penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan studi di Teknik Mesin.
2. Adek penulis, Putri yang selalu mendoakan penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.
3. Dr. Muhammad Irsyad S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah bersedia mendidik dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.

4. M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
5. Agus Sugiri, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji dalam skripsi ini. Terimaksih untuk masukan dan sarannya.
6. Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung beserta staff dan jajarannya.
7. Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
8. Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Kepala Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
9. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas lampung yang telah mengajarkan banyak pengetahuan kepada penulis.
10. Mas Marta selaku admin yang telah banyak membantu penulis dalam mengurus administrasi di jurusan.
11. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
12. Teman – teman SNL Squad ,Farhan Mudrick,Bayu Dirga, Fernando, Daud Yos, Hary Juma,Jodi Aria.
13. Teman – teman Angkatan 2017 yang selalu mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat. Semoga kebersamaan kita tetap terjaga Salam SOLIDARITY M FOREVER.
14. Semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, penulis ucapkan terima kasih semoga Allah Yang Maha Pengasih membalas segala kebaikan kalian.

Penulis menyadari bahwa isi skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bandar Lampung, 22 November 2021

Penulis,

Ahmad Rizki Diva Putra
NPM. 1755021005

DAFTAR ISI

Halaman

Daftar Gambar ..... **vi**

Daftar Tabel ..... **viii**

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang 1

B. Tujuan 2

C. Batasan Masalah 3

D. Sistematika Penulisan 3

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Minyak Nabati 5

B. Jenis – Jenis Minyak Nabati 7

C. Proses Pengambilan Minyak 9

D. *Phase Change Material* 11

E. Klasifikasi *Phase Change Material* 14

F. Sifat Termal PCM 19

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan waktu pelaksanaan 23

B. Tahapan Penelitian 24

C. Alat dan Bahan 26

D. Persiapan Pengujian 32

E. Metode Pengambilan Data.....32
F. Diagram Alir Penelitian.....35

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN
A. Temperatur Perubahan Fasa PCM Minyak Jelantah.....36
B. Sifat Termal PCM Minyak Jelantah.....48
C. Komposisi Asam Lemak Minyak Jelantah.....56

V. SIMPULAN DAN SARAN
A. Simpulan.....65
B. Saran.....66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Halaman

2.1 Klasifikasi *Phase Change Material* 14
2.2 Pelelahan dan Pembekuan.....20
2.3 Grafik Perlakuan Panas 20
3.1 Lemari Pendingin 26
3.2 *Differential scanning calorimeters* (DSC) 26
3.3 *Gas Chromatography* 27
3.4 *Thermal Conductivity Analyzer*.....27
3.5 Thermocouple 28
3.6 Temperatur Recorder 12 Channel Lutron BTM - 4208SD 28
3.7 Kipas 29
3.8 *Heater*.....29
3.9 Minyak kelapa merk barco.....30
3.10 Minyak kelapa sawit merk sania 30
3.11 Minyak jelantah kelapa merk barco 30
3.12 Minyak jelantah merk sania 31
3.13 Minyak jelantah merk barco filter tebu 31
3.14 Minyak jelantah merk sania filter tebu.....32
3.15 Diagram Alir Penelitian 35
4.1 Pengujian pembekuan PCM pada minyak Barco Murni.....37
4.2 Proses perubahan temperatur pada pembekuan Barco murni 37
4.3 Pengujian pembekuan PCM pada minyak Barco jelantah 38
4.4 Proses perubahan temperatur pada pembekuan Barco jelantah 39
4.5 Pengujian pembekuan PCM pada minyak Barco Jelantah Filter 39

4.6 Proses perubahan temperatur pada Barco jelantah filter.....40
4.7 Pengujian pembekuan PCM pada minyak Sania Murni 40
4.8 Proses perubahan temperatur pada pembekuan Sania murni.....41
4.9 Pengujian pembekuan PCM pada minyak Sania jelantah.....41
4.10 Proses perubahan temperatur pada pembekuan Sania jelantah.....42
4.11 Pengujian pembekuan PCM pada minyak Sania jelantah filter.....42
4.12 Proses perubahan temperatur pada pembekuan Sania jelantah filter.....43
4.13 Pengujian pelelehan PCM pada minyak Barco murni 43
4.14 Proses perubahan temperatur pada pelelehan Barco murni 44
4.15 Pengujian pelelehan PCM pada minyak Barco Jelantah.....44
4.16 Proses perubahan temperatur pada pelelehan Barco jelantah 45
4.17 Pengujian pelelehan PCM pada minyak Barco Jelantah filter.....45
4.18 Proses perubahan temperatur pada pelelehan Barco jelantah filter.....46
4.19 Pengujian pelelehan PCM pada minyak Sania murni.....46
4.20 Pengujian pelelehan PCM pada minyak Sania Jelantah 47
4.21 Pengujian pelelehan PCM pada minyak Sania jelantah filter.....47
4.22 Grafik uji DSC minyak Barco murni 51
4.23 Grafik uji DSC minyak Barco jelantah 52
4.24 Grafik uji DSC minyak Sania murni.....53
4.25 Grafik uji DSC minyak Sania jelantah.....54
4.26 Grafik Uji *Gas Chromatography* Minyak Barco Murni 56
4.27 Grafik uji *Gas Chromatography* minyak Barco jelantah.....57
4.28 Grafik uji *Gas Chromatography* minyak Sania murni.....59
4.29 Grafik uji *Gas Chromatography* minyak Sania jelantah.....60

DAFTAR TABEL

Halaman

2.1 Klasifikasi minyak nabati berdasarkan sifat fisiknya.....6
2.2 Jenis Asam Lemak yang terkandung dalam minyak nabati 6
2.3 Jenis asam lemak yang terkandung dalam minyak kelapa sawit.....7
2.4 Jenis asam lemak yang terkandung dalam minyak kelapa 8
2.5 Jenis asam lemak yang terkandung dalam minyak jelantah.....8
2.6 Karakeristik PCM.....12
2.7 Sifat-sifat PCM dari minyak nabati untuk aplikasi penyejuk ruangan.....13
2.8 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa jenis paraffin 15
2.9 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa non paraffin.....16
2.10 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa asam lemak.....16
2.11 Jenis-jenis material PCM garam hidrat 18
2.12 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa *metallics* 18
2.13 Jenis-jenis material PCM *eutectic* 19
4.1 Nilai konduktivitas termal minyak Barco murni 48
4.2 Nilai Konduktivitas Termal Minyak Barco jelantah 49
4.3 Nilai konduktivitas termal minyak Sania murni.....49
4.4 Nilai konduktivitas termal minyak Sania jelantah 50
4.5 Keterangan uji DSC minyak Barco murni 51
4.6 Keterangan uji DSC minyak Barco jelantah 52
4.7 Keterangan uji DSC minyak Sania murni 53
4.8 Keterangan uji DSC minyak Sania jelantah 55
4.9 Komposisi asam lemak yang terdapat pada minyak Barco murni 56
4.10 Komposisi asam lemak yang terdapat pada minyak Barco jelantah 57

4.11 Perbandingan komposisi asam lemak yang terdapat pada minyak Barco murni dan jelantah.....58
4.12 Komposisi asam lemak yang terdapat pada minyak Sania murni.....60
4.13 Komposisi asam lemak yang terdapat pada minyak Sania jelantah.....61
4.14 Perbandingan Komposisi asam lemak yang terdapat pada Minyak Sania murni dan jelantah.....61

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Minyak jelantah adalah minyak goreng yang telah digunakan beberapa kali dalam penggorengan, berdasarkan riset yang dilakukan oleh The International council on clean transportation (ICCT) pada tahun 2018, Indonesia memiliki potensi minyak jelantah mencapai 157 juta/liter yang berasal dari restoran, hotel dan sekolah di perkotaan. Pada umumnya masyarakat membuang minyak jelantah ini karena tidak digunakan kembali. Dengan membuangnya langsung ke lingkungan seperti dibuang di sungai,selokan atau langsung dibuang ke tanah dapat menyebabkan kerusakaan serta mencemari lingkungan sekitar dan berpotensi merusak kehidupan beberapa komunitas makhluk hidup di sungai atau merusak komponen kandungan tanah.

Secara umum minyak jelantah masih menjadi limbah yang dibuang namun secara potensi minyak jelantah bisa dimanfaatkan sebagai salah satu sumber produksi biodiesel yang murah dan berpotensi digunakan sebagai penyimpan energi. Biodiesel dari minyak jelantah pada umumnya diperoleh melalui proses esterifikasi dengan katalis asam dan transesterifikasi dengan menggunakan katalis homogen basa kuat seperti NaOH dan KOH (Widiarti dan Kusumastuti, 2015).

Minyak jelantah tidak jauh berbeda dengan minyak goreng baru yang berasal dari minyak kelapa karena masih memiliki senyawa asam lemak pembentuk yang hampir sama, dan juga minyak kelapa dapat berfungsi sebagai bahan

penyimpan energi termal pada bangunan di lingkungan tropis sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai penyejuk udara ruang pada siang hari. Berdasarkan kajian dan eksperimen yang dilakukan oleh Mettawee tahun 2013 tentang penghematan konsumsi energi operasional pada bangunan melalui pemanfaatan minyak kelapa yang memiliki *melting point* yaitu 22-24 °C sebagai sistem penyimpan energi laten didapatkan bahwa penggunaan minyak kelapa dapat mempertahankan temperatur ruangan sebesar 20-26°C.

Hal ini sangat penting dilakukan untuk memperoleh kandidiat PCM dari minyak jelantah yang membantu dalam pendinginan ruangan sehingga dapat memberikan nilai tambah terhadap minyak jelantah, dapat mengurangi dampak lingkungan dari limbah tersebut dan tidak mengalami konflik kepentingan dalam penggunaannya. Juga mendukung pemanfaatan potensi udara malam hari yang relatif dingin di Indonesia dengan rata-rata perbulan berdasarkan data BMKG 2013 adalah 18°C – 24°C untuk proses pembekuan PCM (Irsyad dkk, 2016).

Melihat potensi dan produksi yang sangat besar maka perlu dilakukan kajian untuk pemanfaatannya sebagai penyimpanan energi termal untuk mengurangi beban termal ruangan dan meningkatkan nilai tambah dari minyak jelantah sehingga menjadi solusi untuk mengurangi limbah dari minyak jelantah tersebut.

B. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Mengetahui sifat- sifat termal PCM dari minyak jelantah yang berasal dari minyak kelapa dan minyak kelapa sawit berupa, temperatur perubahan fasa, panas sensibel, panas laten dan konduktivitas termal
2. Membandingkan sifat termal dan komposisi senyawa minyak jelantah dengan minyak goreng yang belum dipakai

C. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pembahasan agar fokus pada permasalahan maka ruang lingkup penelitian dibatasi sebagai berikut :

1. PCM yang digunakan adalah minyak jelantah yang telah digunakan 5 kali yang berasal dari minyak kelapa merk barco dan minyak kelapa sawit merk sania
2. Pengujian sifat termal dilakukan dengan : metode *T-History*, *Differential Scanning Chalorimetry* disingkat DSC, dan pengujian konduktivitas termal
3. Pengujian komposisi senyawa PCM dilakukan dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC)

D. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penulisan tugas akhir ini yaitu :

I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang dilakukannya penelitian, tujuan penelitian,batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan tugas akhir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat teori dasar mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian seperti minyak nabati, material berubah fasa (PCM), sifat termal (PCM), panas laten.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini yang menjelaskan tentang tempat dan waktu pengujian, alat dan bahan yang di gunakan saat pengujian, metode pengambilan data, dan variabel yang digunakan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil eksperimen, analisa dan pembahasan yang terkait dengan data-data yang diperoleh saat pengujian.

V. PENUTUP

Bab ini berisikan tentang kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk perbaikan penelitian sebelumnya

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Minyak Nabati

Minyak nabati adalah sejenis minyak yang terbuat dari tumbuhan dan banyak digunakan dalam makanan, sebagai perisa rasa (*flavor*), untuk menggoreng dan memasak. Beberapa jenis minyak nabati yang biasa digunakan ialah minyak kelapa sawit, minyak kelapa, minyak jagung, minyak zaitun, minyak kedelai, dan minyak biji bunga matahari. Berdasarkan kegunaannya, minyak nabati terbagi atas dua golongan. Pertama, minyak nabati yang dapat digunakan dalam industri makanan (*edible oils*) dan dikenal dengan nama minyak goreng meliputi minyak kelapa, minyak kelapa sawit, minyak zaitun, minyak kedelai, minyak kanola dan sebagainya. Kedua, minyak yang digunakan dalam indutri non makanan (*non edible oils*), misalnya minyak kayu putih, minyak jarak, dan minyak intaran. Klasifikasi minyak nabati berdasarkan sifat fisiknya dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Jenis Asam Lemak yang terkandung dalam minyak nabati dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Klasifikasi minyak nabati berdasarkan sifat fisiknya (Ketaren, 1986)

No	Kelompok Lemak	Jenis Minyak
1	Minyak (Berwujud padat)	Lemak biji cokelat, inti sawit, cohune,babassu,tengkawang,nutmeg butter, mowwah butter dan shea butter
2	Minyak (berwujud cair) • Tidak mengering (non drying oil) • Setengah mengering (semi drying oil) • Mengering (drying oil)	 Minyak zaitun, kelapa, inti zaitun, kacang tanah, almond, inti alpukat, inti plum, jarak rape dan mustard Minyak dari biji kapas, kapok, jagung, gandum, biji bunga matahari, eroton dan urgen. Minyak kacang kedelai, safflower, argemone, walnut, biji poppy, biji karet, penilla, lin seed dan candle nut

Tabel 2.2 Jenis Asam Lemak yang terkandung dalam minyak nabati (Wijayanti, 2008)

Jenis Asam Lemak	Nama Sistematik	Struktur	Formula
Asam Laurat	Dodekanoat	12:0	$C_{12}H_{24}O_2$
Asam Miristat	Tetradekanoat	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$
Asam Palmitat	Heksadekanoat	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$
Asam Stearat	Oktadekanoat	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$
Asam Arakidat	Eikosanoat	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$
Asam Behenat	Dokosanoat	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$
Asam Lignoserat	Tetraksanoat	24:0	$C_{24}H_{48}O_2$
Asam Oleat	Cis-9-Oktadekenoat	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$
Asam Linoleat	Cis-9,cis-12-Oktadekadienoat	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$
Asam Linolenat	Cis-9,cis-12,cis-15-Oktadekatrienoat	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$
Asam Erukat	Cis-13-Dokosenoat	22:1	$C_{22}H_{42}O_2$

B. Jenis – Jenis Minyak Nabati

1. Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit berasal dari mesokarp kelapa sawit.Minyak kelapa sawit terdiri atas berbagai trigliserida dengan rantai asam lemak yang panjang dan jenisnya berbeda-beda. Dengan demikian, sifat minyak kelapa sawit ditentukan oleh perbandingan dan komposisi trigliserida tersebut. Karena kandungan asam lemak yang terbanyak ialah asam lemak tak jenuh oleat dan linoleat, maka minyak kelapa sawit masuk golongan minyak asam oleat-linoleat. Asam oleat merupakan asam lemak tidak jenuh rantai panjang dengan memiliki satu ikatan rangkap. Asam linoleat bersifat tidak jenuh, merupakan asam lemak omega-6, dan memiliki rantai 18-karbon Panjang, minyak kelapa sawit memiliki titik didih yaitu 298 °C. (Ketaren, 1986). Jenis asam lemak yang terkandung dalam minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Jenis asam lemak yang terkandung dalam minyak kelapa sawit (Hariyadi,2014)

Asam Lemak	Struktur	Ttitik Beku	% terhadap asam lemak total	
			Kisaran	Rata-rata
Asam laurat	C12:0	43,2	0,1 - 1,0	0,2
Asam miristat	C14:0	53,9	0,9 - 1,5	1,1
Asam palmitat	C16:0	61,8	41,8 - 45,8	44,0
Asam palmitoleat	C16:1	-0,1	0,1 - 0,3	0,1
Asam stearate	C18:0	68,8	4,2 - 5,1	4,5
Asam oleat	C18:1	13,4	37,3 - 40,8	39,2
Asam linoleiat	C18:2	n/a	9,1 - 11,0	10,1
Asam linolenat	C18:3	-16,5	0,0 - 0,6	0,4
Asam arakidonat	C20:0	-49,5	0,2 - 0,7	0,4

2. Minyak Kelapa

Minyak kelapa murni (*virgin coconut oil*) adalah minyak kelapa yang dibuat dari bahan baku kelapa segar, diambil minyaknya atau *kernel*-nya, diproses dengan pemanasan terkendali atau tanpa pemanasan sama sekali, tanpa bahan kimia dan RDB. Menurut Darmoyuwono (2006) minyak kelapa

murni memiliki titik didih yaitu 225°C. Jenis asam lemak yang terkandung dalam minyak kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Jenis asam lemak yang terkandung dalam minyak kelapa

Asam Lemak	**Rumus Kimia**	**Jumlah (%)**
Asam lemak jenuh:		
Asam kaproat	$C_5H_{11}COOH$	0,0 – 0,8
Asam kaprilat	$C_7H_{17}COOH$	5,5 – 9,5
Asam kaprat	$C_9H_{19}COOH$	4,5 – 9,5
Asam laurat	$C_{11}H_{23}COOH$	44,0 – 52,0
Asam miristat	$C_{13}H_{27}COOH$	13,0 – 19,0
Asam palmitat	$C_{15}H_{31}COOH$	7,5 – 10,5
Asam stearat	$C_{17}H_{35}COOH$	1,0 – 3,0
Asam arachidat	$C_{19}H_{39}COOH$	0,0 – 0,4
Asam lemak tidak jenuh		
Asam palmitoleat	$C_{15}H_{29}COOH$	0,0 – 1,3
Asam oleat	$C_{17}H_{33}COOH$	5,0 – 8,0
Asam linoleat	$C_{17}H_{31}COOH$	1,5 – 2,5

3. Minyak Jelantah

Minyak jelantah atau *waste cooking oil* (WCO) adalah minyak limbah yang bisa berasal dari jenis-jenis minyak goreng seperti halnya minyak jagung, minyak sayur, minyak samin dan sebagainya, minyak ini merupakan minyak bekas pemakaian kebutuhan rumah tangga umumnya, dapat digunakan kembali untuk keperluaran kuliner akan tetapi bila ditinjau dari komposisi kimianya, minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik, yang terjadi selama proses penggorengan. Jenis asam lemak yang terkandung dalam minyak jelantah dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Jenis asam lemak yang terkandung dalam minyak jelantah (Bautista, 2009)

Asam Lemak	**Struktur**	**Komposisi (%wt)**
Lauric	C12:0	n.d.
Myristic	C14:0	0,13
Palmitic	C16:0	8,80
Stearic	C18:0	4,20

Oleic	C18:1	45,15
Linoleic	C18:2	39,74
Linolenic	C18:3	0,20
Arachidic	C20:0	0,43
Gadoleic	C20:1	n.d.
Behenic	C22:0	0,75
Erucic	C22:1	0,30
Lignoceric	C24:0	0,30

C. Proses Pengambilan Minyak

Menurut Ketaren (1986), ekstraksi merupakan suatu cara untuk mendapatkan minyak atau lemak dari bahan yang diduga mengandung minyak atau lemak. Adapun cara ekstraksi ini bermacam-macam, yaitu rendering (*dry rendering* dan *wet rendering*), *mechanical expression* dan *solvent extraction*

1. *Rendering*

Rendering merupakan suatu cara ekstraksi minyak atau lemak dari bahan yang diduga mengandung minyak atau lemak dengan kadar air yang tinggi. Pada semua cara *rendering,* penggunaan panas adalah suatu hal yng spesifik, yang bertujuan untuk meggumpalkan protein pada dinding sel bahan dan untuk memecahkan dinding sel tersebut sehingga mudah ditembus oleh minyak atau lemak yang terkandung didalamnya. *Rendering* ada dua cara yaitu *wet rendering* dan *dry rendering*. *Wet rendering* adalah proses rendering dengan penambahan sejumlah air selama berlangsungnya proses tersebut. Sedangkan *dry rendering* adalah cara *rendering* tanpa penambahan air selama proses berlangsung. *Dry rendering* dilakukan dalam ketel yang terbuka dan dilengkapi dengan steam jacket serta alat pengaduk. Bahan yang diperkirakan mengandung minyak dimasukkan ke dalam ketel tanpa penambahan air.

2. Pengepresan Mekanis (*Mechanical Expression*)

Pengepresan mekanis merupakan suatu cara kestraksi minyak atau lemak, terutama untuk bahan yang berasal dari biji-bijian. Cara ini dilakukan untuk memisahkan minyak dari bahan yang berkadar minyak tinggi (30-70 persen).

Pada pengepresan mekanis ini diperlukan perlakuan pendahuluan sebelum minyak atau lemak dipisahkan dari bijinya. Perlakuan pendahuluan tersebut mencakup pembuatan serpih, perajangan dan penggilingan serta *tempering* atau pemasakan.

Terdapat dua cara yang umum dalam pengepresan mekanis yaitu pengepresan hidrolik (*hydraulic pressing*) dan pengepresan berulir (*screw pressing*).

a. Pengepresan hidrolik (hydraulic pressing)

Pada cara hydraulic pressing, bahan dipres dengan tekanan sekitar 2000 lb/in2. Banyaknya minyak atau lemak yang dapat diekstraksi tergantung dari lamanya pengepresan, tekanan yang digunakan serta kandungan minyak dalam bahan. Sedangkan banyaknya minyak yang tersisa pada bungkil bervariasi sekitar 4-6%, tergantung dari lamanya bungkil ditekan dibawah tekanan hidrolik.

b. Pengpresan berulir (*expeller pressing*)

Cara expeller pressing memerlukan perlakuan pendahuluan yang terdiri dari proses pemasakan atau tempering. Proses pemasakan berlangsung pada temperatur 240OF (115,5 OC) dengan tekanan sekitar 15-20 ton/inch2. Kadar air minyak atau lemak yang dihasilkan berkisar sekitar 2,5-3,5 persen, sedangkan bungkil yang dihasilkan masih mengandung minyak sekitar 4-5 persen. Cara lain untuk mengekstraksi minyak atau lemak dari bahan yang diduga mengandung minyak atau lemak adalah gabungan dari proses *wet rendering* dengan pengepresan secara mekanik atau dengan sentrifusi (Ketaren, 1986).

3. Ekstraksi dengan Pelarut (*Solvent Extraction*)

Prinsip dari proses ini adalah ekstraksi dengan melarutkan minyak dalam pelarut minyak dan lemak. Pada cara ini dihasilkan bungkil dengan kadar minyak yang rendah yaitu sekitar 1 persen atau lebih rendah. Mutu minyak kasar yang dihasilkan cenderung menyerupai hasil dari *expeller pressing*, karena sebagian fraksi bukan minyak akan ikut terekstraksi.Pelarut minyak atau lemak yang biasa digunakan dalam proses ekstraksi dengan pelarut menguap adalah petroleum eter,gasoline carbon disulfide, karbon tetra klorida,benzene dan n-heksan.Perlu diperhatikan bahwa jumlah pelarut

menguap atau hilang tidak boleh lebih dari 5 persen. Bila lebih, seluruh sistem solvent extraction perlu diteliti lagi (Ketaren, 1986).

D. *Phase Change Material*

Phase Change Materials (*PCM*) yang juga seringkali disebut sebagai bahan-bahan penyimpan panas laten adalah bahan yang mempunyai kemampuan untuk melepaskan energi panas yang sangat tinggi dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa perubahan suhu (Meng, 2008).

Material berubah fasa merupakan sebuah material yang dapat menyerap dan melepaskan energi panas dalam jangka waktu yang lama tanpa mengalami perubahan temperatur dan ditandai dengan perubahan fasa. Perubahan fasa tersebut dapat berupa benda padat menjadi cair atau sebaliknya. PCM sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari misalnya asam lemak, minyak nabati, garam hidrat dan parafin atau yang biasa digunakan sebagai bahan baku lilin. Setiap PCM mempunyai titik leleh dan energi panas laten yang berbeda-beda sehingga dalam penggunaannya sebagai *thermal energy storage* (TES) harus disesuaikan dengan aplikasinya (Pudjiastuti, 2011). Karakteristik PCM dapat dilihat pada Tabel 2.6 dan sifat-sifat PCM dari minyak nabati untuk aplikasi penyejuk ruangan dapat dilihat pada Tabel 2.7.

1. Karakeristik PCM

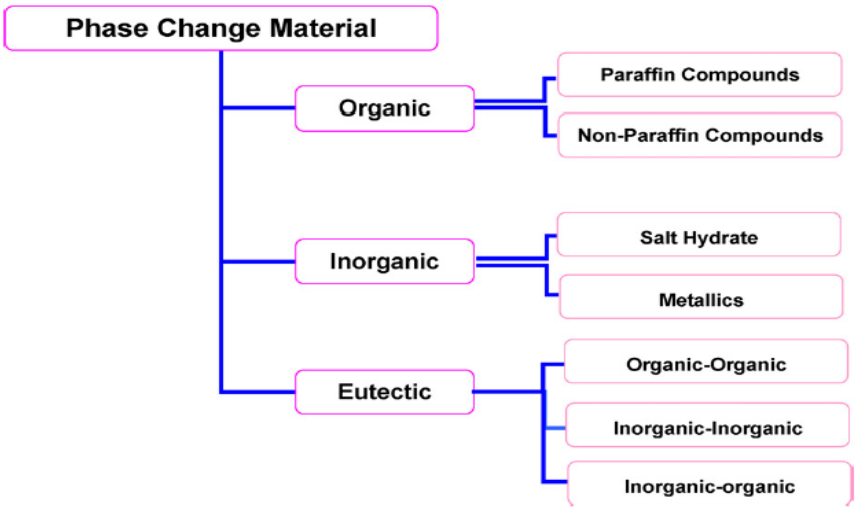
Tabel 2.6 Karakteristik PCM (Kalnas et al, 2015)

Klasifikasi	**Kelebihan**	**Kekurangan**
Organik	1. Tersedia secara luas dalam berbagai temperatur operasi 2. Rendah atau tidak mengalami supercooling 3. mempunyai panas lebur yang tinggi 4. dapat didaur ulang 5. Tidak korosif 6. dapat dioperasikan dengan berbagai material	a. memiliki konduktifitas termal yang rendah b. memiliki perubahan volume yang besar c. mudah terbakar
Inorganik	1. memiliki panas lebur yang tinggi 2. memiliki konduktifitas termal yang tinggi 3. memiliki perubahan volume yang rendah 4. tersedia dengan biaya yang rendah	1. Mengalami supercooling 2. Mengalami korosi
Eutektik	1. Memiliki temperatur leleh yang tinggi 2. Memiliki densitas termal yang tinggi	Kurangnya literatur mengenai data-data termal properties

Tabel 2.7 Sifat-sifat PCM dari minyak nabati untuk aplikasi penyejuk ruangan

Material	**Temperatur Pembekuan (ºC)**	**Temperatur Pelelehan (ºC)**	**Panas laten (kJ/kg)**	**Referensi**
Calophyllum inophyllum seed oil	11,8 – 4,1	-6,3 – 14,3	184,5	Irsyad dkk, 2015
Hevea braziliensis seed oil	6,3 – 5,4	-4,5 – (-0,8)	9,3	Irsyad dkk, 2015
Commercial grade virgin olive oil		10 - 15	90	Gunasekara dkk, 2017
Mystiric acid-Capric acid (34% - 66%)		24	147,7	Al-Abidi dkk, 2012
Capric-lauric acid (45 : 55%)		21	143	Al-Abidi dkk, 2012

E. Klasifikasi Phase Change Material



Gambar 2.1 Klasifikasi Phase Change Material

1. Organik

PCM organik dapat berupa alifatik atau organik lain. Umumnya *PCM* organik mempunyai rentang suhu rendah. *PCM* organik mahal dan mempunyai rata-rata panas laten per satuan volume serta densitas rendah. Sebagian besar *PCM* organik mudah terbakar di alam. *PCM* organik dapat dibedakan sebagai parafin dan non parafin.

a. Parafin

Parafin terdiri dari campuran Sebagian besar rantai lurus n-alkana CH3-(CH2)-CH3. Kristalisasi dari rantai (CH3)- melepaskan sejumlah panas laten. Titik leleh dan panas peleburan laten meningkat dengan semakin panjangnya rantai. Kualitas parafin sebagai bahan penyimpan panas peleburan disebabkan oleh rentang suhunya yang cukup luas. Parafin termasuk material yang aman digunakan, reliable, tidak mahal dan tak berkorosi (Sharma, 2009). Beberapa titik leleh dan panas peleburan laten parafin dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa jenis parafin (Sharma, 2009)

Jumlah atom C	Titik leleh (°C)	Panas Peleburan (kJ/kg)
14	5,5	228
15	10	205
16	16,7	237,1
17	21,7	213
18	28	244
19	32	222
20	36,7	246
21	40,2	200
22	44	249
23	47,5	232
24	50,6	255
25	49,4	238
26	56,3	256
27	58,8	236
28	61,6	253

b. Non Parafin

PCM dari bahan non parafin merupakan *PCM* yang banyak ditemui dengan variasi sifat yang cukup banyak. Masing-masing bahan ini mempunyai karakteristik/sifat khusus tidak seperti parafin yang mempunyai sifat hampir sama. Jenis ini merupakan kategori terbanyak dari *PCM*. Di antara bahan-bahan non parafin tersebut yang paling banyak adalah jenis ester, asam lemak, alkohol dan jenis-jenis glikol. (Abbat *et al.* 1981; Buddhi & Sawhney 1994).

Kelompok ini seringkali dibedakan lagi menjadi kelompok asam lemak dan organik nonparafin lain. Bahan-bahan ini umumnya mudah menyala dan tidak boleh dibiarkan pada suhu tinggi, dekat nyala dan bahan pengoksidasi. Beberapa titik leleh dan panas peleburan laten Non parafin dapat dilihat pada Tabel 2.9 sedangkan sedangkan *PCM* asam lemak dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.9 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa non parafin (Sharma, 2009)

Material	**Titik leleh (°C)**	**Panas laten (kJ/kg)**
Formic acid	7,8	247
Caprilic acid	16,3	149
Glycerin	17,9	198,7
α-Lactic acid	26	184
Methyl palmitat	29	205
phenol	41	120
Bee wax	61,8	177
Gyolic acid	63	109
Azobenzene	67,1	121
Acrylic acid	68	115
glutaric acid	97,5	156
Catechol	104,3	207
Quenon	115	171
Benzoic acid	124	167
benzamide	127,2	169,4
Oxalate	54,3	178
Alpha napthol	96	163

Tabel 2.10 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa asam lemak (Sharma, 2009)

Material	**Titik leleh (°C)**	**Panas laten (kJ/kg)**
Acetic acid	16,7	184
Poly ethylene glycol	20-25	146
Capric acid	36	152
Eladic acid	47	218
Lauric acid	49	178
Pentadecanoic acid	52,5	178
Tristearin	56	190
Mirystic acid	58	199
Palmatic acid	55	163
Stearic acid	69,4	199
Acetamiide	81	141

2. Anorganik

PCM anorganik diklasifikasikan sebagai hidrat (*salt hydrate*) garam dan logam (*metallic*). *PCM* jenis ini tidak terlalu dingin dan panas peleburan tidak akan berkurang selama perputaran (Pudjiastuti, 2011).

a. Garam Hidrat

Garam hidrat merupakan salah satu jenis PCM inorganik yang terdiri dari campuran air dan garam, yang mana keduanya berkombinasi membentuk kristal-kristal matrik pada saat mengalami pembekuan. Garam hidrat merupakan jenis PCM yang memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan PCM lain. Salah satu kelebihan garam hidrat yaitu persediaannya yang melimpah sehingga mudah didapatkan. Selain itu, garam hidrat memiliki nilai ekonomis yang rendah sehingga sangat terjangkau. Dari segi termofisiknya garam hidrat memiliki nilai panas laten yang tinggi sehingga dapat menyerap panas lebih banyak tanpa mengalami perubahan temperatur. Tidak hanya itu, garam hidrat juga mengalami proses perubahan fasa yang cepat sehingga tidak membutuhkan waktu yang lama pada proses penyerapan dan pelepasan panas. Hal ini disebabkan karena garam hidrat memiliki nilai konduktifitas termal yang tinggi.

Garam hidrat memiliki beberapa kekurangan sebagai *thermal energy storage*. Salah satunya yaitu sifat garam yang mudah mengendap sehingga dapat mengurangi fungsi utama sebagai *thermal energy storage* karena menurunkan daya penyerapan dan pelepasan panas. Selain itu, garam hidrat menunjukkan adanya *supercooling* pada saat pelepasan panas. akibatnya, garam hidrat hanya dapat digunakan di tempat-tempat tertentu dan tidak dapat digunakan secara luas. Tidak hanya itu, garam hidrat juga memiliki sifat yang korosif terhadap logam yang mana kebanyakan sistem yang digunakan dalam *heat storage* adalah logam sehingga penggunaan garam hidrat sebagai *thermal energy storage* perlu

disesuaikan dengan sistemnya sebelum diaplikasikan (Akmal, 2019). Beberapa material PCM garam hidrat dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Jenis-jenis material PCM garam hidrat (Sharma dan Sagara, 2005)

Nama	**Titik leleh (°C)**	**Densitas (kg/m³)**	**Konduktivitas Termal (W/m.K)**	**Panas laten (kJ/kg)**
$K_2HO_4.4H_2O$	18,5	1447^{20C}	-	231
$CaCl_2.6H_2O$	29-30	1562^{32C}	$0{,}561^{61{,}2C}$	170-192
$Zn(NO_3)_2.6H_2O$	36	1828^{36C}	$0{,}464^{39{,}9C}$	134-147
$Na_2S_2O_3.5H_2O$	48	1600	-	209
$Na_2SO_4.12H_2O$	35	1522	-	256-281
$Mn(NO_3)_2.6H_2O$	25,8	1728^{40C}	-	125,9
$LiNO_3.3H_2O$	30	-	-	124
$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	78	1937^{84C}	$0{,}653^{85{,}7C}$	265-280
$MgCl_2.6H_2O$	115-117	1450^{120C}	$0{,}570^{120C}$	165-169

b. Logam (*Metallic*)

Jenis ini juga mencakup logam dengan titik leleh rendah dan campuran logam. *PCM* jenis ini belum banyak menjadi perhatian sebab sangat berat. Namun, jika volume menjadi perhatian, jenis ini menjadi pilihan karena mempunyai panas peleburan laten per-satuan volume yang tinggi. Di samping itu mereka juga mempunyai konduktivitas panas tinggi sehingga tidak diperlukan tambahan bahan pengisi yang berat. Daftar beberapa bahan *metallic* dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa *metallics* (Sharma, 2009)

Material	**Titik leleh (°C)**	**Panas laten (kJ/kg)**
Gallium-gallium antimony eutectic	29,8	-
Gallium	30	80,3
Cerrolow eutectic	58	90,9

Bi-Cd-In eutectic	61	25
Cerrobend eutectic	70	32,6
Bi-Pb-In eutectic	70	29
Bi-In eutectic	72	25
Bi-Pb-tin eutectic	96	-
Bi-Pb eutectic	125	-

3. *Eutectic*

PCM *eutectic* merupakan gabungan antara dua material PCM atau lebih untuk menghasilkan material PCM baru. PCM *eutectic* dapat dibuat dengan menggabungkan antara material PCM organic-organic, organic-inorganic, dan inorganic-inorganic . Syarat dari penggabungan kedua material ini yaitu kedua materialnya harus dapat bercampur rata (tidak memisah). Selain itu, gabungan antara dua material tersebut harus memiliki temperatur leleh dan temperatur beku yang sama sehingga pada saat PCM mengalami pembekuan dan peleburan kedua material tersebut dapat berlangsung secara bersamaan (Akmal, 2019) PCM *eutectic* dapat dilihat pada tabel 2.13

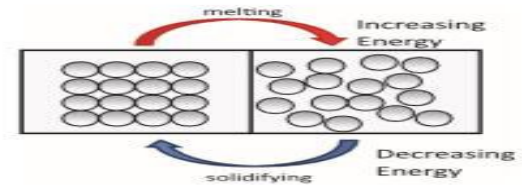
Tabel 2.13. Jenis-jenis material PCM *eutectic* (Sharma dan Sagara, 2005)

Nama	**Komposisi (%)**	**Titik Leleh ($°C$)**	**Panas Laten (kJ/kg)**
$C_{14}H_{28}O_2 + C_{10}H_{20}O_2$	34+66	24	147.7
$AICI_3 + NaCl + ZrCL_2$	79+17+4	68	234
$AICI_3 + NaCl + KCl$	66+20+14	70	209
$NH_2CONH_2 + NH_4Br$	66.6+33.4	76	151
$AICI_3 + NaCl + KCl$	60+26+14	93	213
$AICI_3 + NaCl$	66+34	93	213

F. Sifat Termal PCM

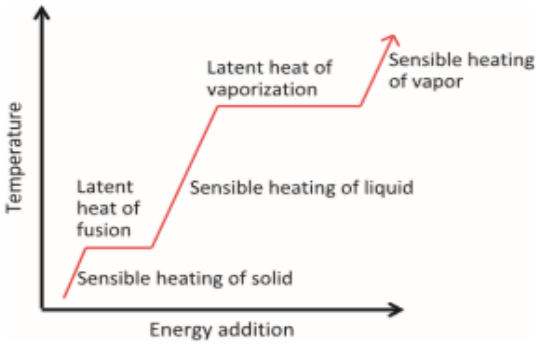
PCM adalah sebuah material yang mengalami perubahan fasa seperti dari padat-cair, lebih dikenal sebagai siklus pembekuan-pelelehan. Energi kalor pada material berfungsi untuk meningkatkan energi atom atau molekul penyusunnya, sehingga menghasilkan perubahan fasa. Pada temperatur leleh, ikatan atom merenggang dan perubahan material dari fasa padat ke cair. Solidifikasi adalah

kebalikannya, dimana material memindahkan energi ke sekitarnya dan molekul kehilangan energi dan mengatur diri menjadi saling berhimpitan dan berubah ke dalam fase padat dari fasa cair. Pelelehan dan pembekuan terdapat pada gambar 2.2 dan grafik perlakuan panas dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 Pelelehan dan pembekuan

(Fleischer. 2015)



Gambar 2.3 Grafik perlakuan panas

(Fleischer, 2015)

Gambar 2.3 menjelaskan saat proses sensible terjadi dimana temperatur PCM berubah sesuai waktu, sedangkan proses laten adalah temperatur PCM tidak berubah tetapi waktunya berubah.

1. Penyimpanan Panas Laten

   Panas laten adalah panas yang diserap untuk merubah fasa material tersebut, tetapi temperaturnya tetap. Panas laten dibedakan menjadi 2, yaitu panas laten pencairan/peleburan (*latent heat of fusion*), dan panas laten penguapan (*latent heat of vaporization*). Energi yang diserap atau dilepaskan selama siklus pencairan-pemadatan dikenal sebagai panas laten fusi. Sedangkan panas laten penguapan, yang membedakannya yaitu perubahan dari fasa cair ke gas.

Melanjutkan perubahan padat ke cairan melalui panas laten fusi, dan panas yang masuk kemudian meningkatkan suhunya ke titik didih. Setelah titik didih tercapai, cairan berubah menjadi uap melalui panas laten penguapan sampai proses perubahan fasa. Jadi panas laten penguapan memerlukan energi yang lebih tinggi dari pada panas laten fusi. Dari situlah mengapa PCM memakai panas laten fusi.

Pada umumnya proses penguapan/kondensasi, menyerap dan melepaskan lebih banyak energi, tetapi perubahan densitas dari cairan menjadi uap besar, dan bekerja dengan bantuan alat seperti boiler dan kondensor. Ada banyak aplikasi untuk menghasilkan panas untuk penguapan, tetapi disini kita akan berkonsentrasi pada aplikasi yang proses perubahan fasa cair-padat yang paling menguntungkan. Jumlah penyerapan atau pelepasan energi selama siklus peleburan-pemadatan diatur oleh nilai panas laten bahan tersebut. Panas laten fusi umumnya dinyatakan dalam satuan J/gr, dengan demikian prosesnya adalah proses berbasis masa.

2. Penyimpanan Panas Sensibel

Panas sensibel adalah berpindahnya panas dari suatu sistem menuju material tetapi tidak mengakibatkan perubahan fasa, reaksi kimia, dan perubahan komposisi, yang berubah hanya temperatur di dalam material tersebut.

3. *Super Cooling*

Super cooling adalah proses pendinginan cairan dibawah titik bekunya, tanpa berubah fasa dari cair menjadi padat. Suatu fluida akan mencapai titik bekunya jika membentuk kristal, bila ada benih kristal atau nukleus disekitar struktur kristal. Tetapi jika fluida cair tidak memiliki nukleus, cairan akan mempertahankan bentuk cairnya sampai suhu penahanan dinamik terjadi. Dan cairan tersebut membeku menjadi padat *amorfous*, yaitu padat non kristalin (Fransisco, 2020).

4. Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal dapat didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal adalah sifat bahan dan menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satu satuan luas jika

gradien suhunya satu. Bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi dinamakan konduktor, sedangkan bahan yang konduktivitas termalnya rendah disebut isolator. Konduktivitas termal berubah dengan suhu, tetapi dalam banyak soal perekayasaan perubahannya cukup kecil untuk diabaikan. Nilai angka konduktivitas termal menunjukkan seberapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu. Makin cepat molekul bergerak, makin cepat pula ia mengangkut energi. Jadi konduktivitas termal bergantung pada suhu. Pada pengukuran konduktivitas termal mekanisme perpindahannya dengan cara konduksi. (Rinaldi, 2016).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan kajian eksperimental tekait dengan upaya pemanfaatan minyak jelantah seagai penyimpan energi termal dalam pendinginan ruangan. Karena penelitian ini merupakan kajian awal; maka fokus penelelitian diarahkan ke kajian sifat termal minyak jelantah.

Riset ini dibagi atas tiga bagian yakni; pertama, kajian sifat termal minyak goreng dairi minyak kelapa dan minyak goreng dari minyak sawit, kedua sifat termal dari minyak jelantah dari minyak kelapa dan minyak kelapa sawit, dan ketiga adalah kajian komposisi senyawa asam lemak dari masing - masing sampel tersebut.
Sifat termal yang akan diketahui adalah temperatur perubahan fasa, panas laten, panas sensibel, dan konduktivitas termal.

A. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Termodinamika, jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung, LIPI Serpong. LIPI Bandung dan Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Adapun waktu pelaksanaan penelitian ini dimulai pada bulan Januari 2021 sampai dengan Juni 2021.

B. Tahapan Penelitian

Berikut ini merupakan jadwal kegiatan penelitian yang akan dilakukan, tersusun seperti pada tabel dibawah ini:

No.	Kegiatan	Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur																								
2	Persiapan Alat dan Bahan Pengujian																								
3	Pengujian Bahan																								
4	Pengolahan Data																								
5	Pembuatan Laporan Akhir dan Ujian Skripsi																								

1. Studi Literatur

   Pada penelitian ini dilakukan studi literatur mengenai material fasa berubah atau PCM serta aplikasinya pada bangunan.

2. Persiapan

   a. Pemilihan PCM

   PCM yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak murni merk sania dan barco juga minyak jelantah merk barco dan sania.

   b. Pengujian

   Pengujian Kajian ini adalah sebagai berikut:

   1) Metode *T- History*

Pengujian ini dilakukam dengan pemberian temperatur dingin yang berasal dari pendingin ruangan yang sudah dimodifikasi. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Termodinamika Teknik Mesin Universitas Lampung.

2) Metode *Differential scanning calorimetry* (DSC)

Sempel PCM minyak murni dan jelantah diuji menggunakan metode DSC (*Differensial Scanning Calorimeter*) untuk mengetahui termofisik dari PCM. Dimana pada pengujian ini akan menghasilkan data untuk menjadi acuan pada temperatur berapa PCM akan berubah fasa. Pengujian ini dilakukan di LIPI Bandung.

3) Metode *Gas Chromatography*

Sampel PCM minyak murni dan jelantah campuran juga diuji dengan metode GC (*Gas Chromatography)* untuk mengetahui jumlah dan jenis senyawa apa saja yang terdapat didalamnya. Dimana kromatografi gas digunakan untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri masa untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Metode ini bertujuan untuk mengetahui jumlah ikatan rantai karbon yang terdapat pada PCM minyak murni dan jelantah. Pengujian ini dilakukan di Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

4) Metode Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal dapat didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal adalah sifat bahan dan menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satu satuan luas jika gradien suhunya satu. Pengujian ini dilakukan di Lipi Serpong, Tangerang.

c. Analisis data

Hasil data yang diperoleh setelah melakukan pengujian akan dianalisis dan diolah agar didapat kesimpulan penelitian ini.

d. Penulisan laporan

Penulisan laporan adalah tahap akhir dari penelitian ini.

C. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada pengujian ini adalah:

1. Alat

Alat yang digunakan untuk pengujian *T-history* sebagai berikut:

a. Lemari Pendingin

lemari pendingin dapat dilihat pada gambar 3.1

Gambar 3.1 Lemari Pendingin

Spesifikasi Lemari Pendingin Sebagai berikut:

1. Merk : Midea
2. Kapasitas : 65 L
3. Daya : 78 Watt

b. *Differential scanning calorimeters* (DSC)

Alat *Differential scanning calorimeters* dapat dilihat pada Gambar 3.2:

Gambar 3.2 *Differential Scanning Calorimeters*

Spesifikasi DSC 214 polyma

1. Merk : NETZCSH
2. Prinsip : Heat-Flux DSC
3. Range Temperatur : -170°C sampai 600°C
4. *Heating/Cooling rate* : 0,001K/min sampai 500 K/min

c. *Gas Chromatography*

Alat *Gas Chromatography* dapat dilihat pada Gambar 3.3.

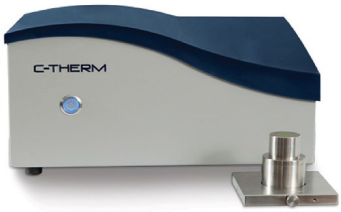
Gambar 3.3 *Gas Chromatography*

Spesifikasi GC 7890b

1. Merk : Agilent
2. Pengulangan Waktu Ratensi : < 0,008% atau < 0,0008 min
3. Pengulangan Area : < 1%RSD

d. Thermal Conductivity Analyzer

Alat *Thermal Conductivity Analyzer* dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 *Thermal Conductivity Analyzer*

Spesifikasi TCi Thermal Conductivity Analyzer

1. Merk : C-Therm
2. *Thermal Conductivity Range* : 0 – 500 W/mK
3. *Thermal Effusivity Range* : 5 – 40.000 Ws1/2/m^2K
4. Minimum ukuran sampel test : 17 mm

e. *Thermocouple*

Thermocouple dapat dilihat pada Gambar 3.5

Gambar 3.5 *Thermocouple*

f. *Temperatur Recorder* 12 Channel Lutron BTM - 4208SD

Temperatur Recorder 12 Channel Lutron BTM - 4208SD dapat dilihat pada Gambar 3.6

Gambar 3.6 *Temperatur Recorder* 12 channel Lutron BTM – 4208SD

Spesifikasi Temperatur recorder ini sebagai berikut:

1. Tipe sensor jenis J, K, T, E , R, dan S
2. Waktu perekaman 1 – 3600 detik
3. Termometer tipe K : -100 ˚C sampai 1300 ˚C

g. Kipas

Kipas dapat dilihat pada Gambar 3.7

Gambar 3.7 Kipas

h. *Heater*

Heater dapat dilihat pada Gambar 3.8

Gambar 3.8 *Heater*

2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Minyak kelapa merk barco

Minyak kelapa merk barco dapat dilihat pada Gambar 3.9

Gambar 3.9 Minyak Kelapa Merk Barco

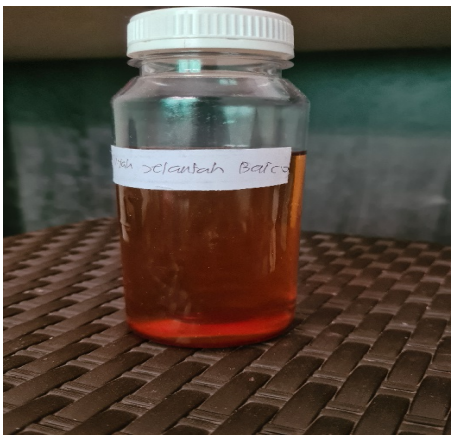
b. Minyak kelapa sawit merk sania

Minyak kelapa sawit merk sania dapat dilihat pada Gambar 3.10

Gambar 3.10 Minyak Kelapa Sawit Merk Sania

c. Minyak jelantah kelapa merk Barco

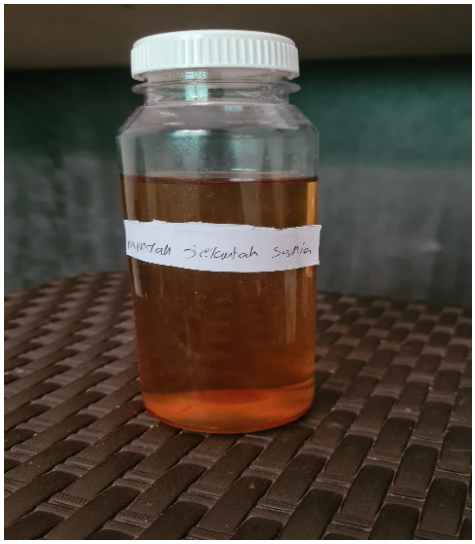
Minyak jelantah kelapa merk Barco dapat dilihat pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Minyak Jelantah merk Barco

d. Minyak jelantah kelapa sawit merk Sania

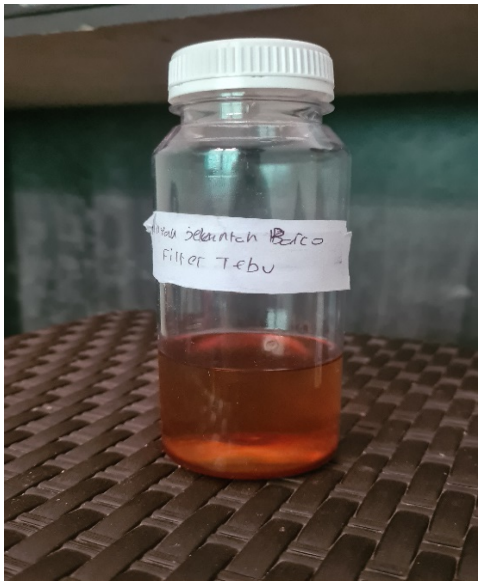
Minyak jelantah kelapa sawit merk Sania dapat dilihat pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Minyak jelantah merk Sania

e. Minyak jelantah merk Barco filter tebu

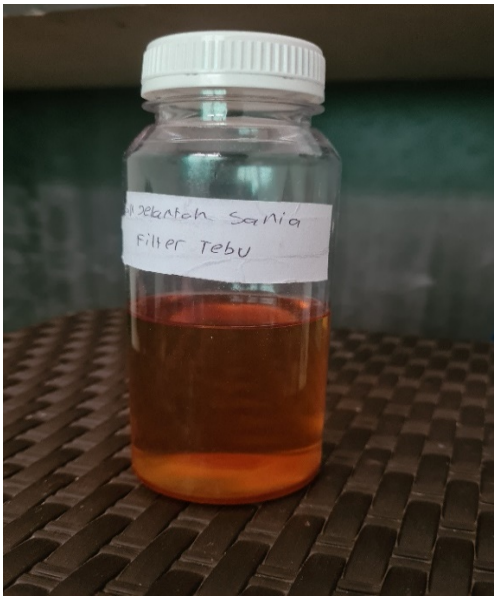
Minyak jelantah merk Barco filter tebu dapat dilihat pada Gambar 3.13



Gambar 3.13 Minyak jelantah merk Barco filter tebu

f. Minyak jelantah merk Sania filter tebu

Minyak jelantah merk Sania filter tebu dapat dilihat pada Gambar 3.14



Gambar 3.14 Minyak jelantah merk Sania filter tebu

D. Persiapan Pengujian

Adapun persiapan pengujian pada penelitian ini adalah :

1. Mempersiapkan minyak jelantah merk barco dan sania juga minyak murni merk barco dan sania
2. Persiapan alat uji
3. Alat ukur dan dan pemasangannya
4. Persiapan sampel untuk pengujian T-History, DSC, GC dan TCi

E. Metode Pengambilan Data

Adapun beberapa metode pengambilan data yang akan dilakukan dengan adalah sebagai berikut :

1. Metode T- History
   a. Menyiapkan minyak jelantah dan minyak murni

b. Mengatur range temperatur pembekuan dan pelelehan mulai dari temperatur lingkungan 28°C – 10°C – 28°C

c. Mencolokkan *thermocouple* ke *thermorecorder* sebanyak 2 buah

d. Menghidupan *thermorecorder* untuk merekam data yang akan di lakukan pengujian

e. Melakukan pengujian pada minyak murni dan minyak jelantah untuk mendapatkan *history* dari temperatur yang diinginkan pada saat melakukan pembekuan dan pelelehan

f. Mengulangi Langkah awal untuk pengujian jenis minyak lainnya

g. Mengambil data hasil dari pengujian yang didapat pada minyak jelantah dan minyak murni

2. Metode pengambilan data dengan metode DSC:

a. Berat sampel sebesar 10 mg

b. Range temperatur pengujian 30°C – 0ºC – 30°C

c. Laju pembekuan dan pelelehan 5º permenit

d. Pan diisi dengan sampel uji dan pan yang lain diisi dengan material referensi

e. Kedua Pan diletakkan diatas *heater*

f. Memberi perintah melalui komputer *heater* akan dinyalakan dan sekaligus menentukan *specific heat* yang di inginkan

g. Dari Komputer kecepatan panas dapat diatur dan panas dideteksi dengan sensor temperatur yang kemudian sinyalnya diterima oleh komputer

h. Komputer kemudian akan memberi perintah pada heater untuk mempertahankan *specific heat*nya

3. Metode pengambilan data dengan metode *Gas Chromatography*

a. Mengaktifkan Un-Interrupable Power Supply (UPS)

b. Membuka Buka katup gas (mengalirkan gas ke GC)

c. Mengaktifkan komputer, sebagai sarana penyimpan data hasil penelitian.

d. Mengaktifkan Gas Chromatography (GC) dengan tombol on/off berada di sisi kiri bawah, tunggu hingga GC selesai initialisasi dan self test

e. Mengaktifkan software chemstation dengan double Program klik kiri icon instrument 1 online atau klik start Instrument 1 online chemstation

f. Memastikan menu berada pada *Load Method* (*Conditioning Methode*) method " *Method and Run Control*" pilih metode yang diinginkan

g. Sebelum digunakan pastikan column sudah diconditioning dengan suhu 20º C di bawah suhu maksimum kolom atau di atas suhu operasional tetapi tidak diperbolehkan melewati suhu maksimum kolom seperti yang tertera di tag kolom

h. Conditioning GC selama 30 menit. Pilih metode yang akan digunakan untuk analisa (Methode and Run Control)

i. Setelah itu, sampel yang sebelumnya dideteksi akan mengeluarkan hasil dari eksperimental yang sebelumnya telah dilakukan

4. Metode Pengambilan data dengan metode *Thermal conductivity analyzer*

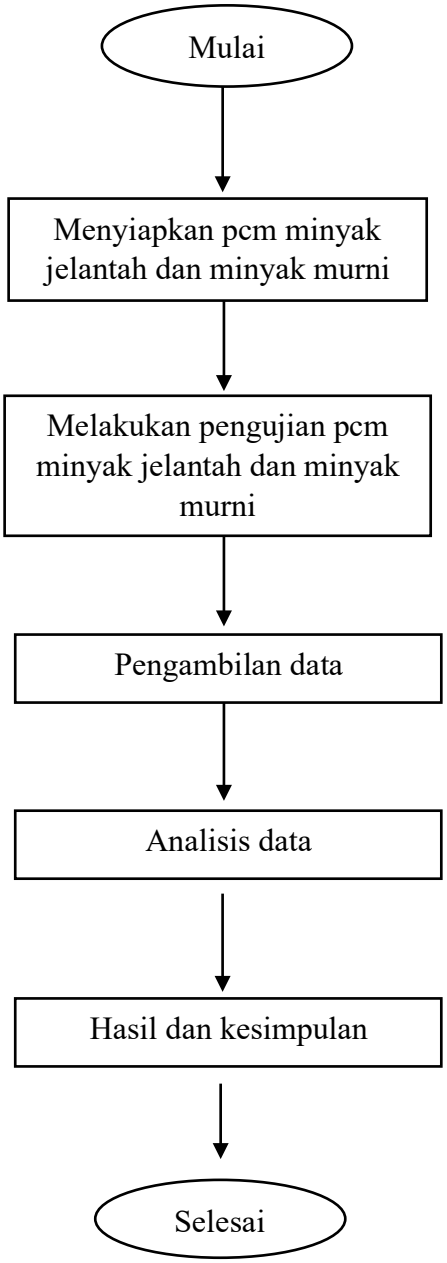
a. Menuangkan sejumlah sampel ke dalam permukaan *test kit*

b. Sensor kemudian akan membaca pengukuran kenaikan tegangan pada titik kontak

c. pada komputer nanti menggunakan software akan terlihat grafik voltase yang semakin naik

d. voltase perlahan akan naik dan dengan data ini dapat melihat nilai dari konduktivitas termal sampel tersebut

F. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.15 Diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

1. Sifat-sifat termal dari PCM minyak jelantah yang berasal dari minyak kelapa murni adalah sebagai berikut, proses pembekuan dari 21,8°C sampai 19,2°C, selanjutnya proses pelelehan dari 13,3°C sampai 25,4 °C, untuk nilai panas laten yaitu 97,76 KJ/Kg, selanjutnya nilai konduktivitas termal 0,155 W/mK. Sedangkan untuk minyak jelantah kelapa sawit adalah sebagai berikut, proses pembekuan dari 18,4°C sampai 0,6°C, selanjutnya proses pelelehan dari 5,2 °C sampai 7°C, untuk nilai panas laten yaitu 43,68 KJ/Kg, selanjutnya nilai konduktivitas termalnya 0,154 W/mK.
2. Perbandingan sifat termal dari minyak jelantah dan minyak murni pada minyak kelapa murni adalah sebagai berikut terjadi perubahan yang tidak terlalu signifikan pada proses awal pembekuan dari 21,8°C menjadi 21,6, selanjutnya proses awal pelelehan mengalami kenaikan dari 13.3°C menjadi 14,3 °C, untuk nilai panas laten pada proses pelelehan mengalami kenaikan dari 97,76 KJ/Kg menjadi 115,7 KJ/Kg, selanjutnya nilai konduktivitas termal tidak mengalami perubahan yang signifikan dari 0,155 W/mK menjadi 0,152 W/mK. Sedangkan untuk komposisi dari minyak jelantah terjadi perubahan signifikan terhadap senyawa senyawa berikut ini *Methyl Arachidate, Methyl Heptadecanoate*, dan *Methyl linolenate.* selain dari itu muncul senyawa senyawa baru yaitu *Methyl Laurate*, *cis-11,14-Eicosadienoic AME*, *Methyl Tricosanoate*

3. Perbandingan sifat termal dari minyak jelantah dan minyak murni pada minyak kelapa sawit adalah sebagai berikut terjadi perubahan yang tidak terlalu signifikan pada proses awal pembekuan dari 18,4°C menjadi 18,9°C, selanjutnya proses awal pelelehan sama pada temperatur 5,2°, untuk nilai panas laten pada proses pelelehan mengalami kenaikan dari 43,68 KJ/Kg menjadi 45,6 KJ/Kg, selanjutnya nilai konduktivitas termal tidak mengalami perubahan yang signifikan dari 0,154 W/mK menjadi 0,151 W/mK. Sedangkan untuk komposisi dari minyak jelantah terjadi kenaikan signifikan terhadap senyawa senyawa berikut ini *Methyl Butyrate* dan *Methyl Linolenate*. Selain dari itu muncul senyawa senyawa baru yaitu *Methyl Hexanoate, Methyl Octanoate, Methyl Decanoate, Methyl Tridecanoate, Methyl Pentadecanoate, cis-10-Heptadecenoic AME* dan *Methyl Arachidate.*

B. SARAN

1. Disarankan untuk penelitian selanjutnya agar dapat diaplikasikan langsung pada dinding ruangan
2. Sebaiknya alat pengujian seperti kulkas sudah dalam keadaan yang optimal untuk dilakukan pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

Akmal, Mardlo. 2019. Karakteristik perpindahan kalor pada material berubah fasa berupa paraffin di dalam alat penukar kalor sebagai pendinginan udara. Jurusan Teknik Mesin . Universitas Lampung

Al-Abidi, A.A., Mat, S.B., Sopian, K., Sulaiman, M.Y., Lim, C.H., Abdul rahman, T.H.,2012, Review of thermal energy storage for air conditioning systems, Renewable andSustainable Energy Reviews, 16, 5802–5819

Abbat, A. 1981. Development of modular heat exchanger with an integrated latent heat storage. Report number BMFT FBT 81-050. Germany Minis

Bautista, Luis Fernando.dkk . 2009. Optimisation of FAME production from waste cooking oil for biodiesel use. Department of Chemical and Environmental Technology, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos 28933 Móstoles, Madrid, Spain

Buddhi, D. and R.L Sawhney. 1994. Proceedings on thermal energy storage and energy conversion. School of Energy and Environmental Studies. Devi Ahilya University. Indore. India.

deMan JM (1998) Functionality of palm oil in foods. J Food Lipids 5:159–170

Devi, Amita., Khatkar, B.S. 2016. Physicochemical, rheological and functional properties of fats and oils in relation to cookie quality: a review. J Food Sci Technol (October 2016) 53(10):3633–3641

Fleischer, Amy S. 2015. Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials Fundamentals and Applications. New York. Springer Cham Heidelberg

Fransisco, Tri May. 2020. Kajian Sifat Termal Material Fasa Berubah Untuk Aplikasi Ruangan Sejuk. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung

Gunasekara, S.N., Stalina, J., Marçala, M., Delubaca,R. Karabanovaa, A., Chiua, J.N.W., Martina, V., 2017 Erythritol, glycerol, their blends, and olive oil, as sustainable phase change materials, Energy Procedia 00 (2017) 000–000, 1-13

Hariyadi, Purwiyatno. 2014. Mengenal Minyak Sawit Dengan Beberapa Karakter Unggulnya. Jakarta. Indonesia

Irsyad, M., Pasek, A.D., Indartono, Y.S., Pratomo, A.W., 2017a, Heat transfer characteristics of building walls using phase change material, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 60 (2017) 012028

M. Irsyad, Yuli S. Indartono, Aryadi Suwono, Ari D. Pasek, 2015, Thermal characteristics of non-edible oils as phase change materials candidate to application of air conditioning chilled water system, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering vol. 88 (2015) 012051

Kalnas, Simen Edsjo. and Jelle, Bjorn Petter. (2015). Phase Change Materials and Products For Building Applications: a state-of-the-art review and future research opportunities. Energy and Buildings. 94(Supplement C), 150-176.

Ketaren, S. 1986. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. Cetakan Pertama. Jakarta. Universitas Indonesia Press.

Meng, Q. and Jinlian Hu. 2008. A poly(ethylene glycol)-based smart phase change material. Solar Energy Materials and Solar Cells 92: 1260-1268.

Pudjiastuti, Wiwik. 2011. Jenis-jenis bahan berubah fasa dan aplikasinya. Jakarta Timur. Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian.

Rinaldi, M. 2016. Rancang Bangun Alat Uji Konduktivitas Thermal Material. Medan. Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Sharma, S.D., and Sagara, K. 2005. Laten heat storage material and system: a review. International journal green energy. 2: 1-56

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.

Wijayanti, Febnita Eka. 2008. Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Sumber Bahan Baku Produksi Metil Ester. Depok. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Departemen Farmasi Universitas Indonesia