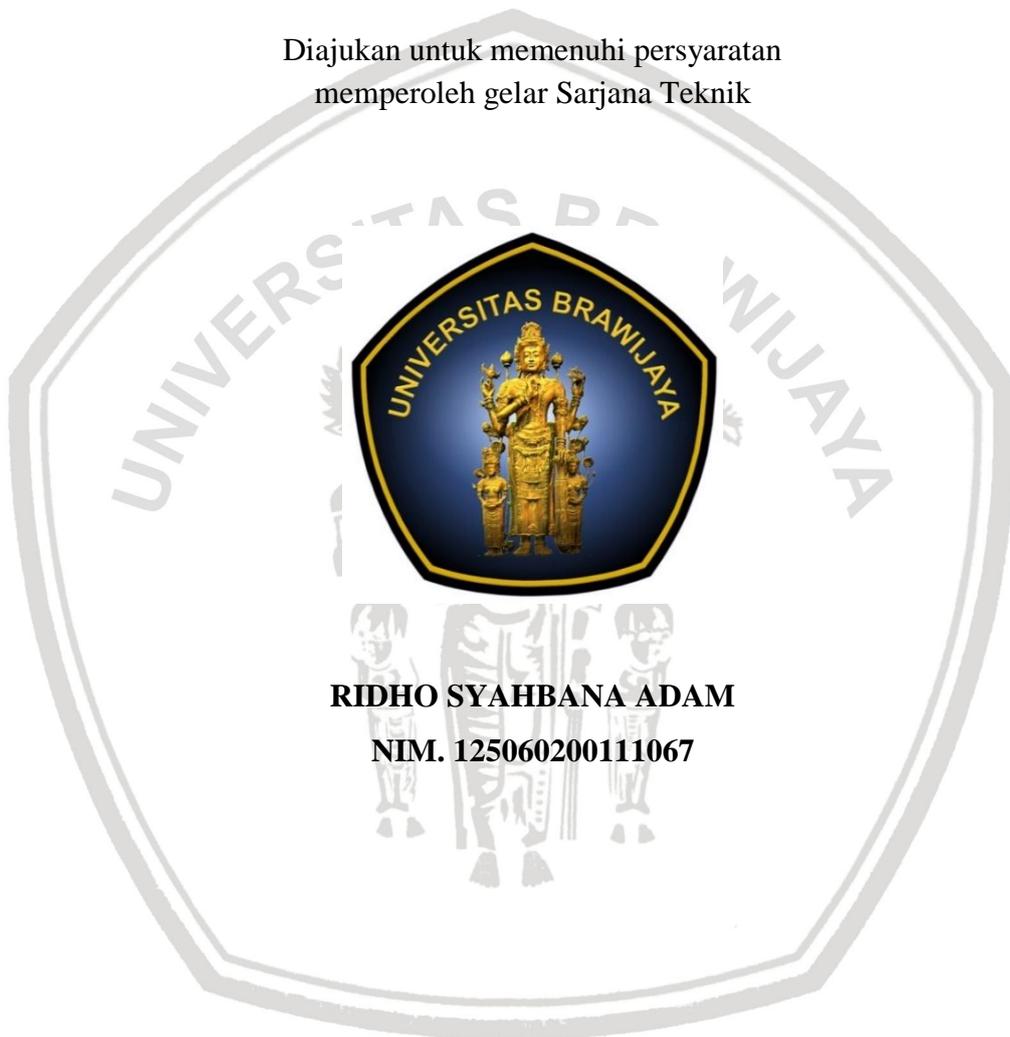


**PENGARUH PENAMBAHAN MINYAK JARAK PAGAR DALAM
AIR SEBAGAI *PHASE CHANGE MATERIAL***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



RIDHO SYAHBANA ADAM

NIM. 125060200111067

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 21 Juli 2018

Mahasiswa,

Ridho Syahbana Adam
NIM. 125060200111067



JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH PENAMBAHAN MINYAK JARAK PAGAR DALAM AIR SEBAGAI
PHASE CHANGE MATERIAL

Nama Mahasiswa : Ridho Syahbana Adam

NIM : 125060200111067

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING :

Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST.,M.Eng.

Dosen Pembimbing II : Purnami, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.

Dosen Penguji 2 : Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT

Dosen Penguji 3 : Dr. Femiana Gapsari, ST., MT

Tanggal Ujian : 21 Mei 2018

SK Penguji : 1065/UN10.F07 /SK/2018

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Komposisi asam lemak minyak jarak pagar.....	6
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Yang Diserap <i>Phase Change Material</i>	22
Tabel 4.2	Derajat <i>supercooling</i> pada air.....	26



KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik. Laporan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Penambahan Minyak Jarak Pagar Dalam Air Sebagai *Phase Change Material*”.

Penulis menyusun skripsi ini sebagai bentuk dokumentasi akhir dari proses perkuliahan yang telah dilakukan. Laporan skripsi ini juga diajukan sebagai syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dalam kurikulum program studi Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Dalam melaksanakan proses penelitian dan penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa tidak akan dapat menyelesaikan semuanya dengan baik tanpa bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua Orang tua yang Penulis cintai (Taufik Hidayat dan Purwaning Ernawati) atas doa, restu dan dukungannya.
2. Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing I yang selalu memberi pengarahan serta saran-saran yang telah diberikan.
3. Purnami, ST.,MT. selaku dosen pembimbing II yang selalu memberi pengarahan, dan mengajari kami.
4. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin FT-UB yang telah membimbing dan memberi ilmunya selama perkuliahan.
5. Bilhaq Jalaluddin dan Ichwan Toyib, sebagai teman dan partner selama kuliah dan selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.
6. Mas Eko selaku laboran Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin FT-UB yang telah membantu menyediakan tempat dan alat-alat selama penelitian.
7. Teman-teman jurusan teknik mesin angkatan 2012 (ADM12AL) yang telah menjadi saudara di Malang atas dukungan dan waktunya selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi.
8. Dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih masih jauh dari kesempurnaan dan masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun yang nantinya dapat membantu perkembangan pembahasan terkait

dengan topik skripsi ini maupun bagi Penulis secara pribadi. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak, baik bagi Penulis, teman-teman, para dosen, masyarakat dan bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Malang, 17 Juli 2018

Penulis



LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN MINYAK JARAK PAGAR DALAM AIR SEBAGAI *PHASE CHANGE MATERIAL*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



RIDHO SYAHBANA ADAM
NIM. 125060200111067

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 17 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
NIP. 19740121 199903 1 001

Purnami ST., MT.
NIP. 19770707 200812 1 005

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

RINGKASAN

Ridho Syahbana Adam, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2018, Pengaruh Penambahan Minyak Jarak Pagar Dalam Air Sebagai *Phase Change Material*, Dosen Pembimbing: Nurkholis Hamidi dan Purnami

Kebutuhan energi yang semakin meningkat menyebabkan sumber energi (bahan bakar fosil) semakin menipis. Untuk mengatasi masalah ini adalah dengan cara meningkatkan efisiensi penggunaan energi dengan mengembangkan alat penyimpanan energi untuk mengurangi perbedaan antara ketersediaan dan permintaan energi. Salah satu alat penyimpanan energi itu adalah *phase change material*. Air adalah salah satu bahan yang sering digunakan untuk menyimpan energi panas, dikarenakan air memiliki kapasitas penyimpanan panas yang besar. Namun, penggunaan air sebagai *phase change material* bersuhu rendah masih belum begitu bagus dikarenakan derajat *supercooling* dari air yang tinggi. *Supercooling* yang terjadi pada air akan menyebabkan semakin banyak energi yang dibutuhkan untuk membekukan air. Oleh karena itu, ditambahkan minyak jarak pagar untuk dicampurkan ke dalam air untuk menurunkan derajat *supercooling*. Minyak jarak pagar dapat dijadikan sebagai *phase change material* bersuhu rendah karena memiliki banyak asam lemak tak jenuh. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambah minyak jarak pagar dalam air sebagai *phase change material*.

Pada penelitian ini dilakukan penambahan minyak jarak pagar dalam air dengan persentase minyak 10%, 20%, dan 30% terhadap air untuk menurunkan titik beku *phase change material*. Air dan minyak jarak yang sudah tercampur dibekukan di *freezer* yang bersuhu $-20^{\circ}\text{C} \sim -25^{\circ}\text{C}$ untuk membekukan bahan *phase change material*.

Hasil yang didapat dalam penelitian ini adalah, penambahan minyak jarak pagar dalam air akan menurunkan titik beku dari air yang dikarenakan sifat koligatif larutan. Semakin banyak jumlah persentase minyak jarak pagar juga akan mengurangi bahkan menghilangkan *supercooling*. Hal ini dikarenakan minyak yang ditambahkan dalam air berfungsi sebagai agen pembentukan inti. Namun dengan ditambahkannya minyak jarak pagar akan menyebabkan kalor yang dapat diserap oleh *phase change material* juga akan berkurang.

Kata Kunci: Jarak pagar, minyak nabati, *phase change materia*, *supercooling*

SUMMARY

Ridho Syahbana Adam, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, April 2018, The Effect of Jatropha Oil In Water As Phase Change Material, Supervisor: Nurkholis Hamidi and Purnami*

Increased energy demand causes energy (fossil fuels) to thin out. To overcome this problem is by increasing energy by developing energy to reduce energy and energy levels. One of those energy storage devices is the phase change material. Water is one of the materials used to store heat energy, because the air has a large heat storage capacity. However, the use of air as a low-temperature phase change material is still not very good because of the high degree of supercooling from the air. Supercooling that occurs in the air will produce the energy needed to freeze the air. Therefore, it has been tried into the water to lower the degree of supercooling. Oil fence can be used as a material of low temperature phase change because it has many unsaturated fatty acids. This study aims to determine the relationship between water in the material as a phase change.

In this research, the addition of jatropha oil in water with 10%, 20%, and 30% oil percentage of water to decrease freezing phase change material. The mixed water and castor oil is frozen in a freezer of -20°C -25°C . to freeze the material phase change material.

The results obtained in this study is, the addition of castor oil in water will decrease the freezing point of water. This is due to colligative properties solution. The higher the percentage of castor oil will also reduce and even eliminate supercooling, This is because the oil added to the water serves as a nucleation agent. But with the addition of castor oil will cause the heat absorbed by the phase change material will be reduce.

Keywords: *castor oil, vegetable oil, freezing point, phase change material, supercooling*

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Macam-macam <i>phase change material</i>	6
Gambar 2.2	Tanaman jarak pagar	8
Gambar 2.3	Struktur kimia jarak pagar.....	8
Gambar 2.4	Ikatan kimia pada air.....	9
Gambar 2.5	Ikatan polar dan non polar	11
Gambar 2.6	Proses emulsi	11
Gambar 3.1	Skema instalasi penelitian proses pembekuan	16
Gambar 3.2	Skema instalasi penelitian proses peleburan	17
Gambar 3.3	Diagram alir penelitian.....	19
Gambar 4.1	Spesimen <i>phase change material</i>	21
Gambar 4.2	Grafik kalor yang diserap <i>phase change material</i>	23
Gambar 4.3	Grafik pendinginan air yang ditambahkan minyak jarak pagar.....	24
Gambar 4.4	<i>Supercooling</i> pada berbagai macam air	25
Gambar 4.5	Derajat <i>supercooling</i> air.....	26
Gambar 4.6	Campuran minyak jarak dengan air sebelum proses pembekuan	27
Gambar 4.7	Campuran minyak jarak pagar dengan air saat membeku	27
Gambar 4.8	Campuran minyak jarak dengan air sesudah dibekukan dan mencair	28



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 <i>Phase Change Material</i>	5
2.3 Minyak Jarak Pagar (<i>Jatropha Curcas</i>)	8
2.4 Air	9
2.5 Air dan Minyak	10
2.6 Larutan	11
2.7 Pembekuan	12
2.8 Nukleasi	12
2.9 Kalor yang Diserap <i>Phase Change Material</i>	13
2.10 Hipotesis	13
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1 Metode Penelitian	15
3.2 Variabel Penelitian	15
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.4 Alat-alat dan Bahan Penelitian	16
3.5 Skema Instalasi Penelitian	16
3.6 Prosedur Pengambilan Data Penelitian	17
3.7 Langkah-langkahnya penelitian	18
3.8 Diagram Alir Penelitian	19



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Penambahan Minyak Jarak Dalam Air	21
4.2 Hasil Pengujian Kalor Yang Diserap <i>Phase Change Material</i>	22
4.2.1 <i>Freezing point Phase Change Material</i>	24
4.2.2 <i>Freezing point Air</i>	25
4.3 Efek pembekuan terhadap PCM(<i>Phase Change Material</i>)	27
BAB V PENUTUP	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Saran	29

DAFTAR PUSTAKA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian energi semakin meningkat menyebabkan bahan bakar minyak fosil (sumber energi yang banyak digunakan saat ini) semakin menipis karena tidak dapat diperbaharui. Jika hal ini terus berlanjut maka bisa terjadi krisis sumber energi tak terbarukan. Oleh sebab itu, diperlukan solusi untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi. Berbagai penelitian dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi dengan solusi hemat energi. Salah satu teknologi hemat energi adalah *Thermal Energy Storage* (TES).

TES sendiri mengakomodasi berbagai kebutuhan. Hal ini memungkinkan energi panas yang berlebih disimpan untuk kemudian digunakan jam, hari, atau berbulan-bulan. Kemudian pada berbagai macam bangunan. Sebagai contoh panas di musim panas dapat disimpan untuk kemudian digunakan di musim dingin. Dan dingin yang diperoleh dari udara musim dingin dapat digunakan untuk pengkondisian udara musim panas. Salah satu media penyimpanannya adalah *Phase Change Materials* (PCM).

PCM atau bahan-bahan perubah fase yang bisa juga disebut bahan yang dapat menyimpan panas dengan kemampuan melepas panas yang sangat tinggi dengan jangka waktu yang cukup lama tanpa adanya perubahan suhu (meng, 2008). Perubahan energi panas berpindah dari fasa yang tadinya cair kemudian ke padat. Energi panas berpindah saat terjadi perubahan fasa dari padat ke cair atau cair ke padat selama proses pemanasan atau pendinginan. Untuk dapat digunakan sebagai TES, material PCM harus memiliki titik leleh dikisaran aplikasi praktis dan juga harus memiliki konduktivitas termal dan panas laten yang tinggi. Selain itu PCM harus memiliki sifat kinetik, sifat kimia, sifat ekonomi, dan juga sifat yang ramah lingkungan.

Bahan yang digunakan sebagai PCM dikelompokkan menjadi tiga, yaitu organik, anorganik, dan organik yang dikombinasikan dengan anorganik (sharma et al., 2009). PCM yang organik dibedakan menjadi parafin dan non parafin. Non parafin ialah pcm yang dikembangkan dengan karakteristik cukup banyak. Berbeda dengan parafin yang sifatnya hampir sama. Masing-masing bahan non parafin mempunyai karakter yang khusus. Bahan non parafin antara lain asam lemak, ester, asam lemak, jenis glikol dan alkohol (abbat et al. 1981; buddhi & sawnhey, 1994).

Bahan penyimpan energi yang paling umum digunakan saat ini adalah air. Air memiliki kapasitas panas laten yang tinggi dan aman. Selain itu air juga banyak digunakan untuk sistem pendinginan udara, dan dalam bentuk es dapat dikatakan sebagai sarana penyimpan energi termal untuk temperatur dingin. Akan tetapi, air tidak dapat digunakan sebagai PCM dengan suhu dibawah 0°C , karena titik beku air 0°C . Agar air dapat digunakan untuk PCM suhu rendah dibawah 0°C , maka perlu ditambahkan bahan yang memiliki titik leleh lebih rendah dari air. Dalam hal ini asam lemak memiliki titik leleh lebih rendah daripada air.

Asam lemak merupakan bahan PCM yang cocok untuk sistem penyimpanan energi suhu rendah dikarenakan memiliki kisaran suhu leleh yang tepat, kapasitas panas tinggi, tidak korosif terhadap logam, stabilitas kimia dan termal yang baik. Tetapi, bau yang dihasilkan oleh asam lemak tidak menyenangkan dibanding dengan parafin (sharma et al., 2009). Untuk mengatasi hal tersebut, asam lemak perlu dilakukan *degumming*. *Degumming* asam lemak umumnya memiliki titik leleh yang lebih rendah dari asam lemaknya.

Asam lemak merupakan penyusun utama minyak nabati atau lemak. Minyak nabati bisa didapat dari berbagai tanaman. Salah satu tanaman yang banyak mengandung minyak adalah jarak pagar. Minyak biji jarak pagar mencapai 63% (akbar et al., 2009), melampaui minyak biji kedelai yang kandungannya (18%), biji bunga matahari yang memiliki kandungan (40%), lalu *linseed* yang memiliki kandungan (33%), dan inti sawit yang kandungannya (45%). Berdasarkan latar belakang diatas maka dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan minyak jarak pagar ke dalam air sebagai *phase change materials* (PCM) suhu rendah.

1.2 Rumusan masalah

Dari latar belakang didapatkan rumusan masalah, bagaimana pengaruh penambahan minyak jarak pagar dalam air terhadap titik leleh (*melting point*), dan panas laten (*latent heat*) sebagai bahan PCM suhu rendah dibawah 0°C .

1.3 Batasan Masalah

Didalam penelitian ini diberikan batasan agar pembahasan pada penelitian ini lebih spesifik dan fokus, adapun batasannya adalah:

1. Bahan yang digunakan yaitu minyak jarak pagar yang telah diproses *degumming*
2. Proses pembuatan bahan (minyak jarak pagar) tidak dibahas dalam skripsi ini
3. Suhu pengujian dianggap konstan -20°C

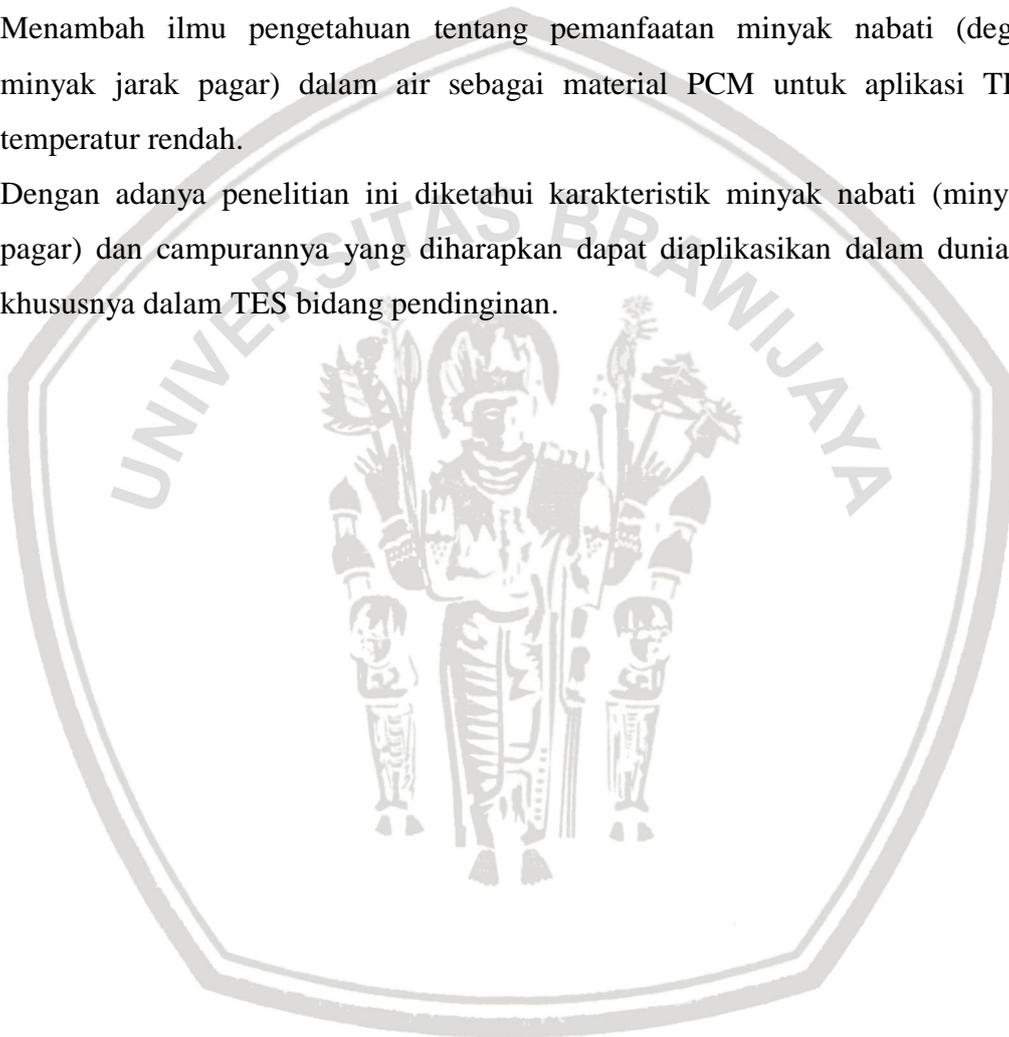
1.4 Tujuan Penelitian

Agar mengetahui pengaruh dengan ditambahkan minyak jarak pagar dalam air terhadap titik leleh (*melting point*), titik beku (*freezing point*) dan panas laten (*latent heat*) sebagai bahan PCM suhu rendah dibawah 0°C.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian didapatkan:

1. Diharapkan penelitian ini menjadi referensi untuk penelitian sebelumnya.
2. Menambah ilmu pengetahuan tentang pemanfaatan minyak nabati (degumming minyak jarak pagar) dalam air sebagai material PCM untuk aplikasi TES pada temperatur rendah.
3. Dengan adanya penelitian ini diketahui karakteristik minyak nabati (minyak jarak pagar) dan campurannya yang diharapkan dapat diaplikasikan dalam dunia industri khususnya dalam TES bidang pendinginan.





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

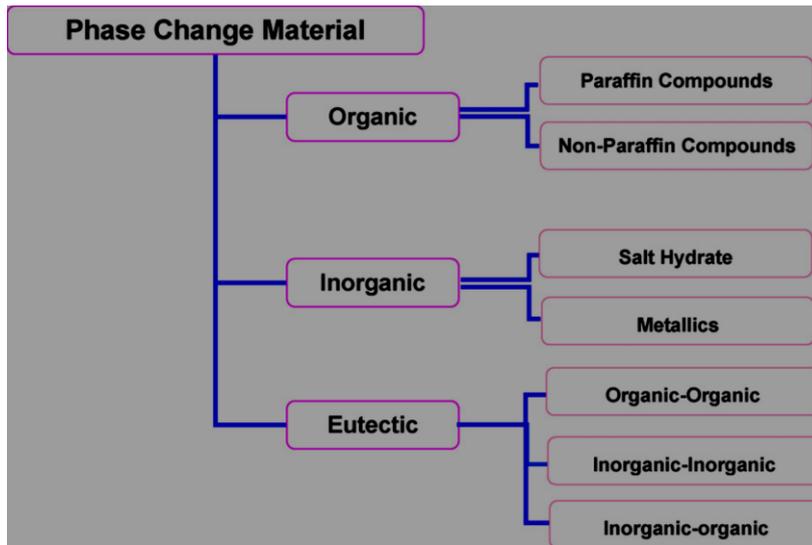
Rasta (2016) melakukan penelitian tentang peran campuran minyak nabati dalam air sebagai *Phase Change Materials* (PCM) temperatur rendah. Dalam penelitian tersebut diperoleh hasil yaitu, jenis minyak (kandungan asam lemak minyak jagung dan minyak kedelai) mempengaruhi karakteristik bahan PCM. Semakin banyak kandungan asam lemak tak jenuh pada minyak nabati mengakibatkan semakin rendah suhu leleh. Selain itu persentase (% volume) komposisi campuran minyak nabati dalam air juga mempengaruhi karakteristik calon bahan PCM. Dimana semakin tinggi persentase minyak nabati (ester minyak jagung dan ester minyak kedelai) dalam air, maka semakin rendah suhu leleh dari sampel PCM.

2.2 *Phase Change Material* (PCM)

Pada awalnya, PCM padat-cair bekerja seperti *Sensible Heat Storage* (SHS), dimana suhunya naik karena menyerap panas. Namun tidak seperti bahan SHS konvensional, ketika PCM mencapai suhu dimana mereka berubah fase (suhu lelehnya), PCM akan menyerap panas dalam jumlah yang cukup besar pada suhu hampir konstan. Suhu konstan sampai proses pelelelan selesai. Ketika suhu lingkungan turun, maka PCM menjadi padat, saat itulah PCM melepas panas laten. Sejumlah PCM tersedia pada rentang suhu yang diperlukan dari -5 sampai 190°C (Kenisarin & Mahkamov, 2007). Dalam rentang suhu 20-30 °C, beberapa PCM sangat efektif. PCM dapat menyimpan panas per satuan volume lebih banyak 5-14 kali dari pada material penyimpanan konvensional seperti air atau batu (sharma *et al*, 2009).

Klasifikasi bahan PCM:

PCM diklasifikasikan menjadi organik, anorganik dan kombinasi dari keduanya (*eutectic*).



Gambar 2.1 Klasifikasi PCM
Sumber: Sharma *et al* (2008)

1. PCM Organik

Material organik diklasifikasikan menjadi 2 yaitu material paraffin dan non paraffin. Material organik harus bisa mencair secara sempurna sehingga cairan dan padatan memiliki komposisi yang sama, perbedaan antara massa jenis fasa cair dan fasa padat menyebabkan segregasi dan menghasilkan perubahan komposisi kimia dari suatu material. Material organik dibagi atas 2 macam yaitu:

a. Material Paraffin

Paraffin terdiri dari campuran ikatan alkane $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)-\text{CH}_3$. Ikatan CH_3 yang mengalami proses kristalisasi melepaskan banyak sekali panas latent. Titik leleh dan panas peleburan laten akan meningkat sesuai dengan panjang rantai CH_3 . Paraffin merupakan material yang aman, dapat diandalkan, bisa di prediksi sifat-sifatnya, tidak mahal, dan tidak korosif.

b. Material Non-Paraffin

Material organik Non-Paraffin ini adalah PCM dengan jumlah variasi paling banyak. Masing-masing material ini memiliki sifat-sifat tersendiri, tidak seperti material paraffin yang rata-rata memiliki sifat yang hampir sama. Jenis material ini adalah material penyimpan panas yang paling sering digunakan. Beberapa material organik ini memiliki sifat-sifat yaitu:

- 1) Kalor jenis latent yang tinggi
- 2) Titik nyala kecil
- 3) Termal konduktivitas yang rendah

- 4) Tidak mudah terbakar
- 5) Tidak terlalu berbahaya

2. PCM Non-Organik

PCM Non-Organik dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu hidrat (*salt hydrates*) dan logam (*metallics*).

a. Hidrat Garam (*Salt Hydrates*)

Hidrat garam (*Salt Hydrates*) memiliki beberapa sifat yang dapat dikategorikan menjadi *Phase Change Material* yaitu:

- 1) Memiliki panas latent yang tinggi per satuan volume
- 2) Memiliki konduktivitas termal yang cukup tinggi
- 3) Perubahan volume yang kecil ketika mencair
- 4) Tidak korosif, tingkat racun kecil dan tidak bereaksi dengan plastik

b. Logam (*Metallics*)

Kategori logam yang termasuk dalam *metallics* adalah logam dengan titik leleh yang rendah dan logam *eutectics*. Bahan *metallics* ini masih jarang dipakai sebagai PCM karena kerugian pada jumlah/berat bahan yang diperlukan. Seperti diketahui, besarnya energi termal yang bisa disimpan itu berbanding lurus dengan volume. Perbedaan dengan PCM lainnya ialah *metallics* memiliki konduktivitas termal yang tinggi.

Dalam memilih PCM, harus memiliki sifat-sifat antara lain (Pasupathy *et al*, 2008):

1. Sifat fisika dan termal

- a. Mencair suhu dalam kisaran suhu operasi yang diinginkan
- b. Panas laten yang tinggi per satuan volume
- c. Panas spesifik, kepadatan dan konduktivitas termal yang tinggi
- d. Perubahan volume kecil pada transformasi fasa dan tekanan uap kecil pada suhu operasi untuk mengurangi masalah penahanan mencair kongruen

2. Sifat kinetik

- a. Laju nukleasi tinggi untuk menghindari pendinginan dari fase cair
- b. Tingginya pertumbuhan kristal, sehingga sistem dapat memenuhi tuntutan pemulihan panas dari sistem penyimpanan

3. Sifat kimia

- a. Stabilitas proses kimia
- b. Siklus reversibel, siklus membeku/mencair sempurna
- c. Tidak ada degradasi selama siklus membeku/mencair

- d. Tidak korosif, tidak mudah terbakar dan tidak mudah meledak
4. Sifat ekonomi
- a. Biaya rendah
 - b. Tersedia dalam jumlah besar

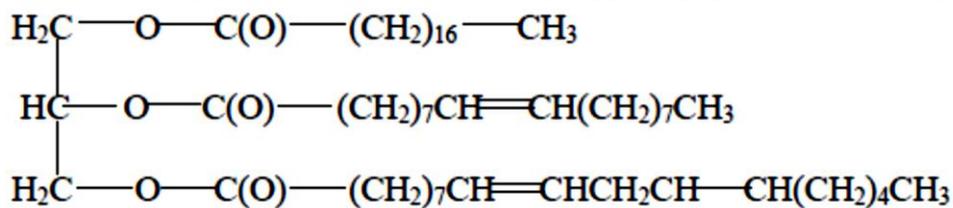
2.3 Minyak Jarak Pagar

Pohon jarak pagar atau bisa disebut (*Jatropha curcas L., Euphorbiaceae*) adalah tanaman yang banyak ditemukan di daerah Indonesia (tropis). Tanaman ini sangat tahan kekeringan dan dapat diperbanyak dengan stek. Tanaman jarak ini dikenal untuk bahan pengobatan. Tumbuhan ini semakin mendapat perhatian karena minyak pada bijinya dapat berperan untuk mesin diesel.



Gambar 2.2 Buah jarak pagar

Kandungan minyak jarak pagar memiliki struktur kimia yang terdiri dari trigliserida dengan rantai asam lemak lurus/tidak bercabang, dengan atau tanpa rantai karbon yang tak jenuh.



Gambar 2.3 Struktur kimia minyak jarak pagar

Pada bagian pohon jarak keseluruhannya mengandung racun, sehingga hama tidak ada di tanaman tersebut. Disisi lain ini merupakan tanaman non pangan yang nilai ekonominya rendah dan menguntungkan untuk proses pembuatan PCM jika dilihat dari bahan mentahnya.

Tabel 2.1
Komposisi Yang Terdapat Pada Minyak Jarak Oagar

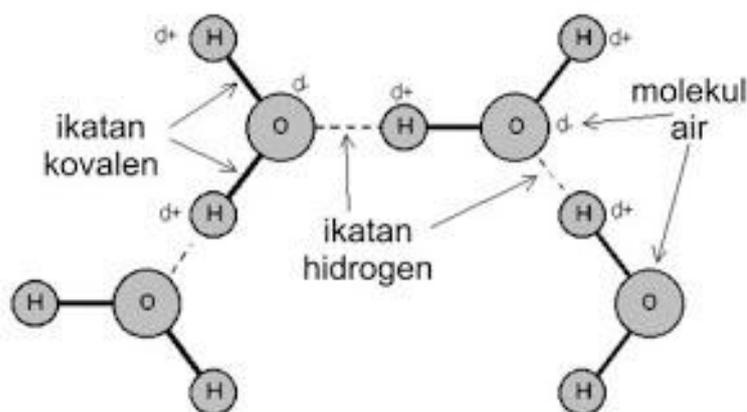
Asam lemak	Kadar (%)	Rumus Kimia
Asam mirristat	0-0, 1	C14H28O2
Asam palmittat	14,1 – 15,3	C16H32O2
Asam stearat	3,7 – 9,8	C18H36O2
Arachidic acyd	0,03 - 0	C20H40O2
Behedic acyd	0 – 0,2	C22H44O2
Asam palmittoleat	0 – 13	-
Asam olleat	34,3 – 45,8	C18H34O2
Asam linnoleat	29,0 – 44,2	C18H32O2
Asam linonellat	0 – 0,3	C18H30O2

Sumber: Trabi (1998)

2.4 Air

Pada bentuk kehidupan air berperan penting untuk kehidupan dibumi yang diketahui sampai saat ini (Philip 2005). Dipermukaan bumi air menutupi hampir 71%. Air sebagian besar ada di laut(air asin) dan ada juga dilapisan-lapisan es yang terdapat dikutup dan puncak puncak gunung. Ada juga yang sebagai awan, air hujan, danau, sungai, dan uap air. Air mempunyai siklus yang bergerak, yaitu : melalui penguapan, hujan serta aliran pada permukaan tanah yang meliputi mata air, sungai, dan muara yang menuju laut. Air tersebut bergerak mengikuti siklus yaitu melalui penguapan, hujan, serta aliran air di permukaan tanah yang meliputi mata air, sungai, muara dan menuju ke laut.

Air sendiri merupakan substansi yang mempunyai rumus kimia H₂O dengan molekul air tersusun satu molekul air atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air mempunyai sifat tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau jika pada kondisi standar. Dimana tekanan 100 kPa(1bar) dengan temperatur 273,15 K (0 derajat Celcius). Air mempunyai kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia seperti gula, garam, dan asam.



Gambar 2.4 Ikatan kimia pada air
Sumber: Cengel (2004)

Dengan keadaan air yang berbentuk cair merupakan suatu kondisi dimana kondisi tersebut tidak normal pada kondisi normal. Dengan memperhatikan hubungan hidrida-hidrida yang terdapat dalam kolom oksigen tabel periodik yang mengisyaratkan air seharusnya berbentuk gas sebagaimana hidrogen sulfida. Bisa dilihat pada tabel periodik yang unsur-unsurnya mengelilingi oksigen ialah hidrogen yang berikatan dengan oksigen adalah nitrogen, fluor, fosfor, sulfur, serta klor. Jika semua elemen-elemen ini berkaitan dengan hidrogen maka menghasilkan gas dan tekanan normal. Hidrogen berkaitan dengan oksigen yang berikatan mempunyai alasan, ialah dikarenakan oksigen lebih bersifat elektronegatif ketimbang elemen lain kecuali fluor.

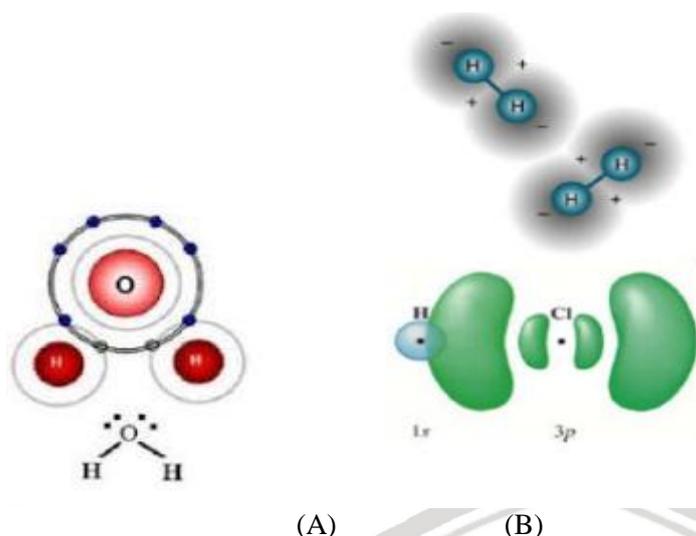
Oksigen mempunyai tarikan atom elektron yang lebih kuat dibanding dengan atom hidrogen. Dengan meninggalkan jumlah muatan positif pada kedua atom hidrogen serta jumlah muatan negatif pada atom oksigen. Molekul air memiliki sejumlah momen dipol karna adanya muatan pada tiap-tiap atom. Akibat adanya dipol ini membuat masing-masing molekul saling berdekatan membuatnya sulit untuk dipisahkan. Dan yang pada akhirnya menaikkan titik didih air, ini disebut ikatan hidrogen.

Air dapat melarutkan berbagai zat kimia sehingga disebut pelarut *universal*. Air dalam kesetimbangan dinamis antara fasa cair dan fasa padat dibawah tekanan serta temperatur standar. Dapat di deskripsikan dalam bentuk ion air sebagai sebuah ion hidrogen (H^+) yang berikatan dengan ion hidroksida (OH^-).

Air memiliki sifat penyimpan panas yang baik karena air memiliki perubahan suhu yang lambat. Air sangat baik digunakan sebagai pendingin mesin karena sifatnya yang tidak mudah panas atau dingin.

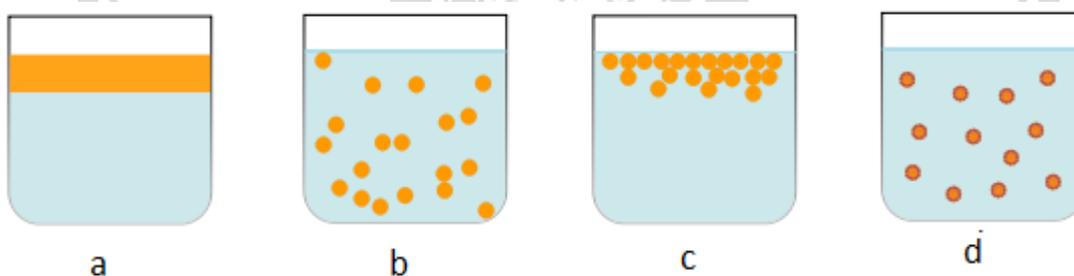
2.5 Air dan Minyak

Air dan minyak tidak dapat menyatu, dikarenakan molekul air menyatu dengan cara ikatan polar, ikatan non polar menyatu dengan molekul minyak. Senyawa yang berbentuk adanya akibat suatu ikatan antar elektron pada unsur-unsurnya ini dapat disebut senyawa polar. Ini dapat terjadi karena adanya unsur yang berikatan mempunyai keelektronegatifitas yang berbeda. Senyawa yang terbentuk akibat adanya suatu ikatan antar elektron pada unsur yang membentuknya ini disebut senyawa non polar. Ini dapat terjadi karena unsur yang berikatan mempunyai nilai elektronegatifitas yang hampir sama/sama.



Gambar 2.5 Ikatan polar (A) dan non polar (B)
 Sumber: Fitriana (2012)

Cara untuk menyatukan air dan minyak adalah dengan menambahkan zat pengemulsi. Zat pengemulsi atau emulsifier adalah zat untuk menjaga kestabilan air dan minyak. Penambahan emulsifier berguna untuk menurunkan tegangan permukaan antara kedua fase larutan sehingga terbentuk emulsi. Emulsi cair merupakan emulsi di dalam medium pendispersi cair. Emulsi melibatkan dari campuran dua zat cair yang tidak bisa saling melarutkan satu dengan yang lainnya jika dicampurkan yaitu antara zat cair polar dan zat cair non polar. Salah satu zat ini antara lain seperti air dan minyak.



Gambar 2.6 Proses sebelum emulsi bereaksi (a) saat dimana proses emulsi berlangsung (b) emulsi tak stabil (c) proses emulsi yang sudah stabil (d)

2.6 Larutan

Dimana homogen yang tercampur dan terdiri dua atau lebih zat disebut larutan. Untuk zat yang jumlahnya lebih banyak dari zat-zat lain dalam larutan disebut solvent atau pelarut. Untuk proses pencampuran zat terlarut dan pelarut yang membentuk larutan disebut solvasi atau pelarutan.

Penurunan titik beku dapat terjadi jika suatu larutan yang ditambahkan suatu zat terlarut akan mengalami penurunan titik beku, penurunan tekanan uap serta kenaikan titik didih. Ini disebut sifat koligatif larutan, dimana ini merupakan sifat dari suatu larutan yang



hanya bergantung pada zat terlarut, bukan pelarut. Bisa dilihat pada radiator kendaraan yang memakai air radiator dengan ditamhkannya etilen glikol yang seharusnya membeku pada suhu 0 derajat celcius, masih bertahan pada suhu 0°celcius dan menjaga agar mesin tetap dingin.

2.7 Pembekuan

Proses dimana zat cair berubah menjadi padat disebut pembekuan. Kebalikan dari proses pembekuan yaitu peleburan. Dimana zat padat berubah cair. Untuk sebagian zat titik beku dan titik lebur biasanya sama.

Suatu proses yang dinamakan pembekuan cepat (*flash freezing*) ialah pendinginan cepat akibat paparan pada temperatur kriogenik dan dapat menyebabkan suatu zat membeku dibawah titik bekunya. Dalam beberapa bahan seperti air murni, temperatur pembekuan lebih rendah dari temperatur peleburan. Titik beku pada air dapat berada di temoeratur yang sama saat titik lebur terdapat nukleator untuk mencegah pendinginan lanjutan(*supercooling*). Titik beku pada air 0°C (32°F, 274 K) tanpa adanya nukleator. Air akan mencair sampai -42°C (-43,6°F, 232 K) sebelum membeku. Titik air akan sama dengan titik leburnya jika adanya nukleasi. Material nukleasi sendiri seperti debu.

2.8 Nukleasi

Nukleasi adalah suatu proses sebelum terjadinya pembentukan kristal. Nukleasi dapat terjadi secara homogen maupun heterogen. Nukleasi homogen adalah suatu nukleasi yang terjadi karna partikel didalamnya serupa. Nukleasi ini terjadi akibat tumbukan antar partikel sehingga membentuk inti. Nukleasi homogen menyebabkan terjadinya *supercooling*. Hal ini disebabkan karena tidak adanya partikel asing yang menyebabkan sulit dalam membentuk inti. Sehingga dibutuhkan energi yang besar dalam proses nukleasi. Nukleasi heterogen adalah nukleasi yang terjadi karena adanya partikel asing atau zat lain yang tidak larut seperti debu. Nukleasi ini yang sering terjadi dikarenakan kebanyakan suatu zat memiliki partikel asing didalamnya dimana partikel asing tersebut berperan sebagai agen nukleasi sehingga proses pembekuan lebih cepat terjadi. Semakin cepatnya proses pembekuan akan mengurangi terjadinya *supercooling*.

2.9 Kalor yang Diserap *Phase Change Material*

Persamaan yang digunakan untuk menghitung banyaknya kalor yang diserap *phase change material* diasumsikan sama dengan banyaknya kalor yang dilepas air.

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta t \quad (2-1)$$

Dimana:

Q = Kalor yang diterima (*joule*)

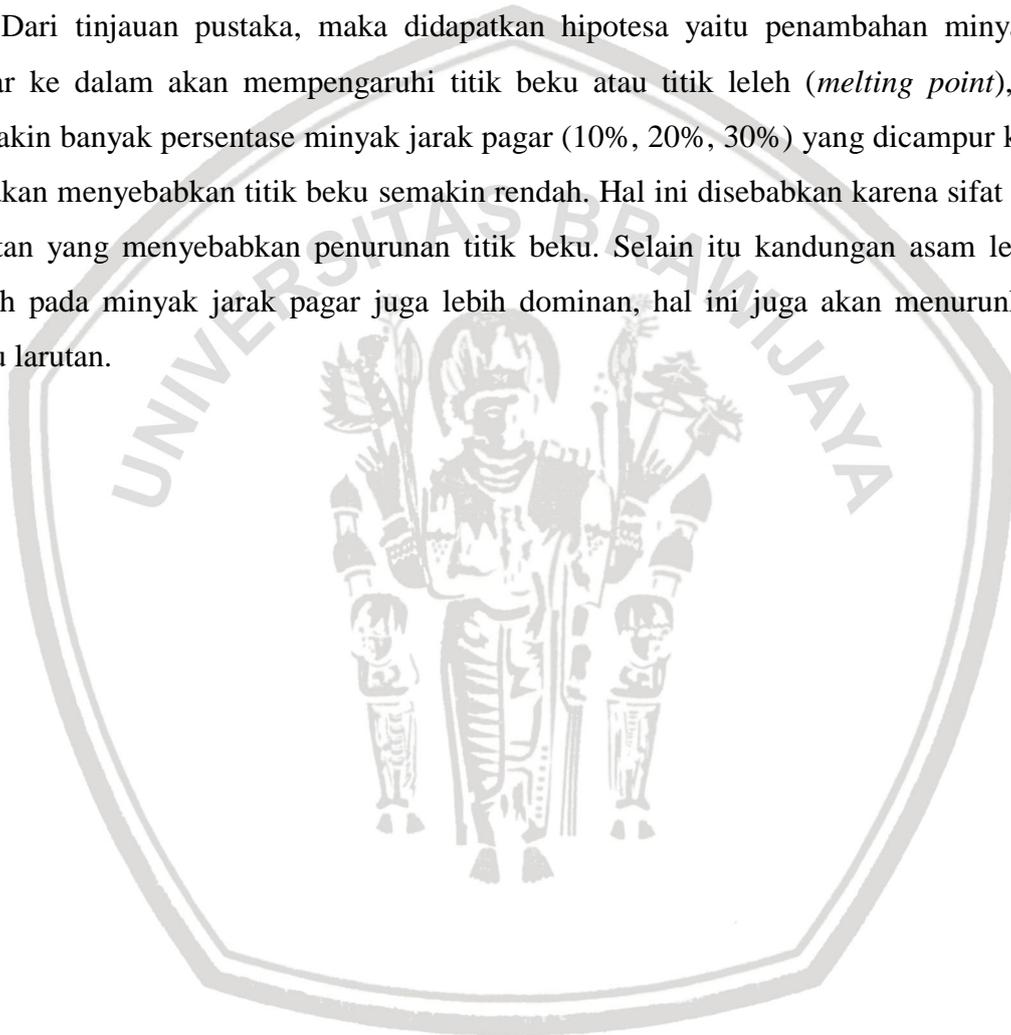
m = Massa (Kg)

C = Kalor jenis air (*joule/Kg*)

Δt = Perubahan temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

2.10 Hipotesis

Dari tinjauan pustaka, maka didapatkan hipotesa yaitu penambahan minyak jarak pagar ke dalam akan mempengaruhi titik beku atau titik leleh (*melting point*), dimana semakin banyak persentase minyak jarak pagar (10%, 20%, 30%) yang dicampur ke dalam air akan menyebabkan titik beku semakin rendah. Hal ini disebabkan karena sifat koligatif larutan yang menyebabkan penurunan titik beku. Selain itu kandungan asam lemak tak jenuh pada minyak jarak pagar juga lebih dominan, hal ini juga akan menurunkan titik beku larutan.





BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Eksperimental digunakan dalam melindungi penelitian ini. Metode ini diaplikasikan agar mengetahui ada atau tidaknya keterkaitan dari sebab akibat serta seberapa besar hubungan tersebut terkait dengan diberikannya percobaan tertentu dan disertai pengontrolan.

3.2 Variabel Penelitian

Adapun beberapa variabel yang dipakai adalah:

1. Variabel bebas

Adalah variabel yang dapat mempengaruhi variabel lainnya. Bisa karna adanya variabel terikat. Ini bisa juga dikatakan variabel yang sebelumnya sudah ditentukan atau direncanakan oleh peneliti. Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah:

- Komposisi persentase volume campuran minyak jarak pagar dalam air: 10%, 20%, 30%.

2. Variabel terikat

Adalah variabel yang dipengaruhi akibat adanya variabel bebas. Hal ini bias juga disebut dengan variabel output yang hasilnya diketahui setelah penelitian dilakukan, variabel terikat pada penelitian ini adalah:

- Titik beku/titik leleh, panas laten fusi

3. Variabel terkontrol

Variabel yang dibuat konstan dan dikendalikan agar mempunyai tujuan antar variabel bebas terhadap variabel yang terkait tidak terpengaruh dari factor luar. Hal ini disebut variabel terkontrol. Pada penelitian ini variabelnya adalah:

- Suhu pengujian: - 20°

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

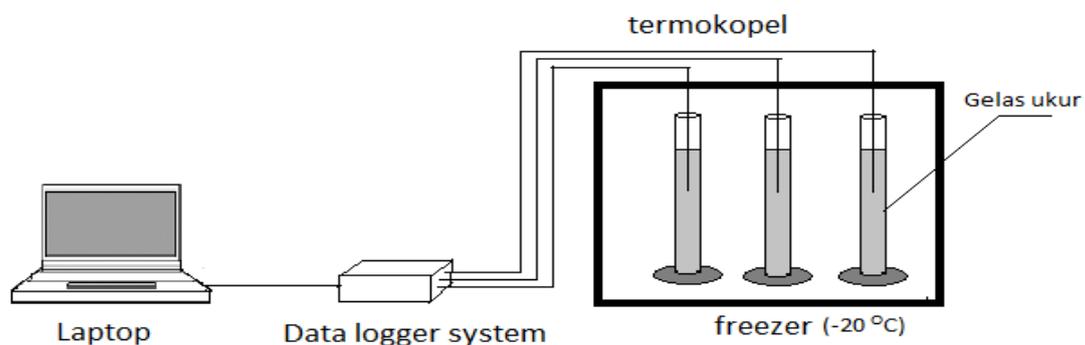
Untuk pembuatan minyak jarak pagar dilakukan di Laboratorium Kimia Institut Teknologi Nasional Malang, sedangkan untuk penelitian dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

3.4 Alat serta bahan untuk penelitian

Alat–alat dan bahan yang dipakai untuk penelitian ini antara lain:

1. Air
Disini air sebagai bahan utama dan zat pelarut untuk penelitian ini.
2. Minyak jarak pagar
Minyak jarak pagar disini sebagai campuran bahan utama untuk dijadikan spesimen uji.
3. Sistem refrigerasi, digunakan untuk sistem pendinginan, peralatannya antara lain *freezer*.
4. *Thermocouple*
Digunakan sebagai alat untuk mengukur suhu spesimen atau bahan uji.
5. *Data logger*
Sebagai pengubah data analog pada termokopel menjadi data digital pada laptop agar dapat dibaca.
6. *Styrofoam*
Digunakan sebagai wadah air dan spesimen uji dalam proses peleburan. Penggunaan *styrofoam* bertujuan agar tidak ada panas yang masuk kedalam sistem.
7. Laptop
Digunakan untuk membaca, menyimpan, dan mengolah data.
8. Kamera
Digunakan untuk merekam proses pendinginan.

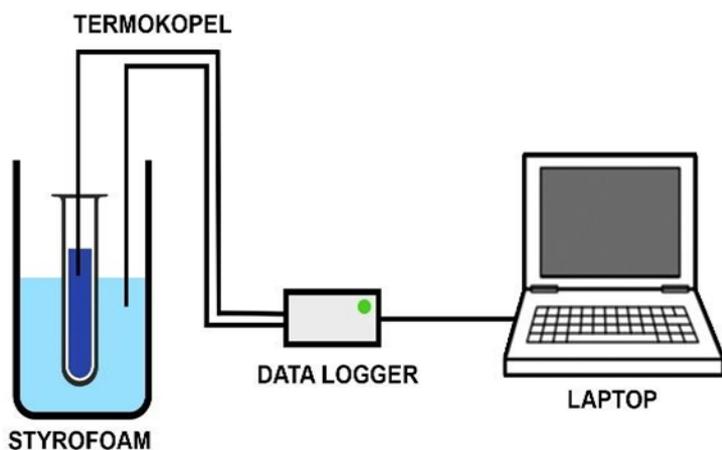
3.5 Skema Instalasi Penelitian



Gambar 3.1 Skema instalasi penelitian pembekuan

Pada penelitian ini, sampel yang diletakkan pada tabung reaksi dimasukkan ke dalam akuarium yang berisi air dan dirancang khusus. Suhu di dalam akuarium dijaga konstan -20

°C menggunakan sistem refrigasi untuk mendinginkan air , selain itu bagian belakang dan samping akuarium diisolasi agar tidak ada panas yang keluar atau masuk. Kemudian termokopel dimasukkan ke dalam spesimen untuk mengukur suhu spesimen. Lalu data logger system yang nantinya mengubah menjadi data digital dari data analog dari termokopel dan dapat dibaca pada komputer/laptop. Pada sisi depan akuarium diletakkan kamera untuk merekam proses pendinginan dan pembekuan.



Gambar 3.2 Skema instalasi penelitian peleburan

Gambar 3.2 sampel yang telah membeku dimasukkan ke dalam kotak *styrofoam* yang telah di isi air dengan massa 500 gram. Termokopel dimasukkan ke dalam spesimen untuk mengukur temperatur spesimen. Selain itu termokopel juga dipasang pada air untuk mengetahui perubahan temperatur saat proses peleburan. kedua termokopel tersebut dihubungkan pada data logger system yang kemudian didapatkannya data digital yang dapat dibaca laptop.

3.6 Prosedur Pengambilan Data Penelitian

Prosedur pengambilan data dalam penelitian ini antara lain:

1. Proses pembuatan spesimen, mencampurkan minyak jarak pagar ke dalam air dengan persentase 10%, 20%, 30%.
2. Siapkan alat-alat sesuai skema yang sudah dibuat.
3. Hidupkan sistem pendinginan untuk mendinginkan air+glykol di dalam akuarium hingga mencapai suhu konstan -20°C .
4. Masukkan spesimen yang sudah tercampur ke dalam *styrofoam*.
5. Masukkan termokopel ke dalam spesimen untuk mengukur suhu yang nantinya diteruskan ke *data logger* dan dibaca oleh laptop.
6. Hidupkan kamera yang diletakkan di depan untuk merekam proses pembekuan.

7. Data yang diperoleh dimasukkan dan diolah dalam bentuk tabel dan grafik.
8. Ulangi prosedur pengujian untuk variasi berbeda.

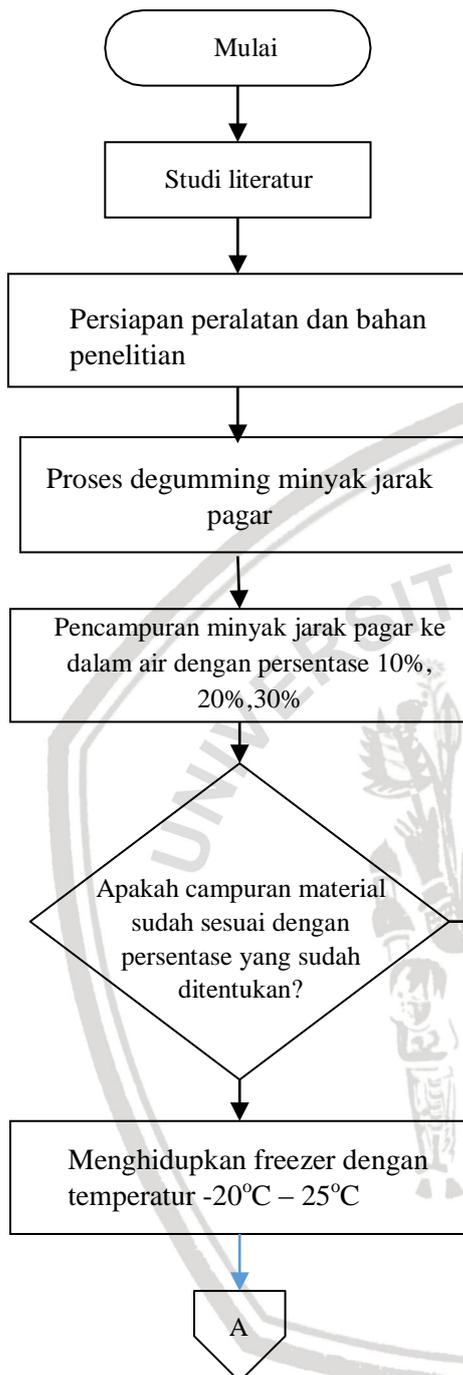
3.7 Langkah-Langkah Penelitian

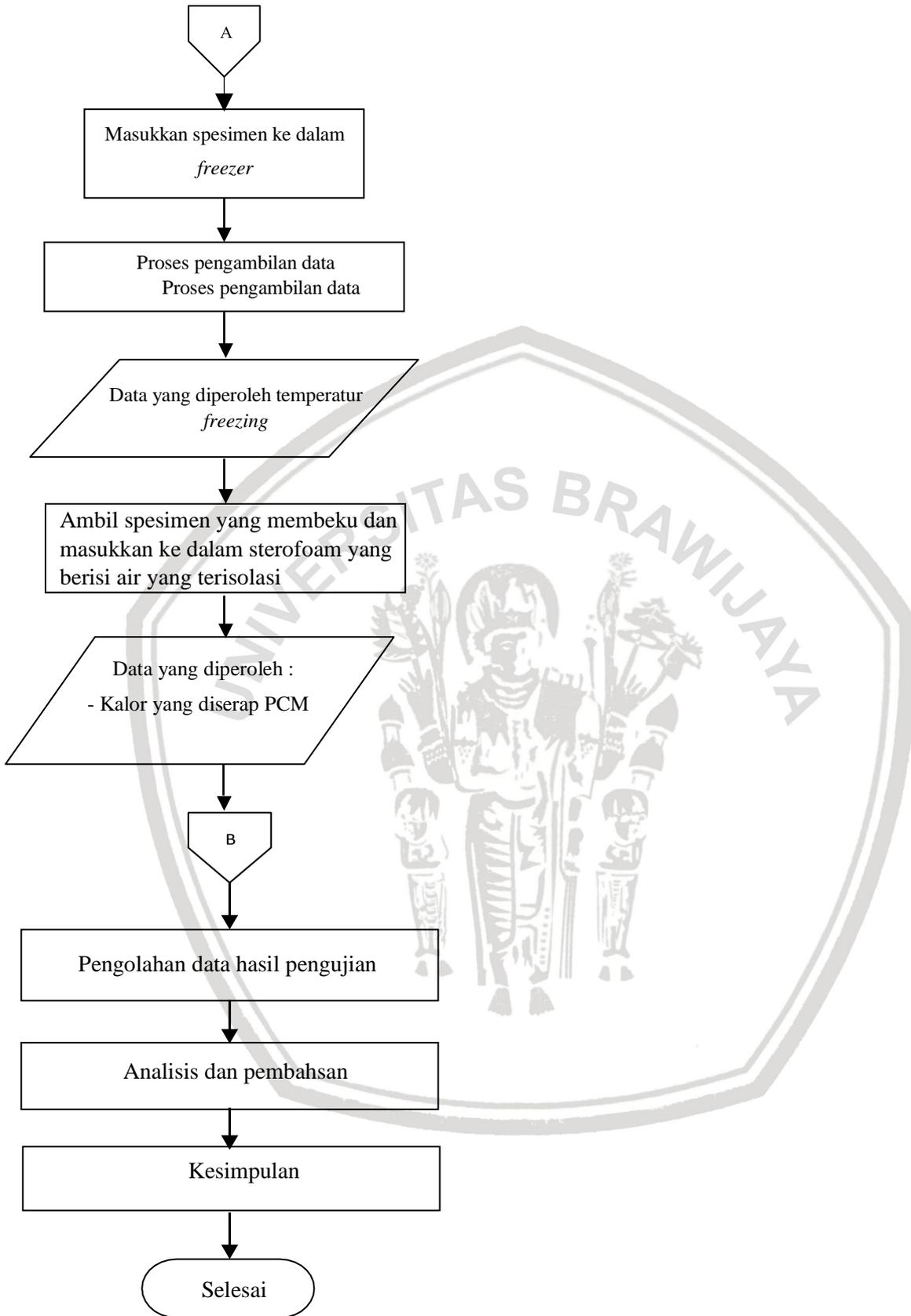
Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah:

1. Siapkan *Styrofoam*
2. Masukkan air kedalam *Styrofoam*
3. Masukkan termokopel kedalam air
4. Sambungkan termokopel ke *data logger*
5. Keluarkan spesimen yang telah membeku dari *freezer* dan masukkan kedalam *Styrofoam*
6. Data yang diperoleh kemudian diolah
7. Ulangi prosedur pengujian untuk variasi berbeda



3.8 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penambahan Minyak Jarak Dalam Air

Pada pengambilan data pengaruh penambahan minyak jarak dalam air sebagai PCM, pertama mempersiapkan spesimen uji campuran minyak jarak dalam air dengan presentase minyak jarak 10%, 20%, dan 30%. Pengukuran presentase dilakukan dengan menggunakan gelas ukur yang sekaligus menjadi wadah PCM disaat pengujian. PCM yang diteliti yaitu sebanyak 10 ml per spesimen. Dikarenakan minyak dan air tidak dapat menyatu, maka ditambahkan emulsifier agar minyak jarak dan air dapat menyatu. Setelah pencampuran spesimen, lalu spesimen dimasukkan kedalam *freezer* yang dapat mencapai suhu -20°C ~ -25°C .



Gambar 4.1 Spesimen *phase change material* a. 30/70 (M/A), b. 20/80 (M/A), c. 10/90(M/A)

Dapat dilihat pada gambar 4.1 diatas pada gelas ukur menunjukkan bahwa minyak jarak pagar dengan air tercampur. Hal ini terjadi karena adanya penambahan zat pengemulsi yang berfungsi merubah sifat koligatif larutan sehingga molekul air stabil dan menyatu selama beberapa saat. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *thermocouple*, sisi satunya dimasukkan kedalam spesimen PCM dan sisi lainnya disambungkan ke *data logger*. *Data logger* berfungsi sebagai alat pengolah data dari *thermocouple* menjadi data agar bisa dibaca di komputer/laptop.

Tabel 4.1

Data *freezing point*, kalor yang diserap, dan *supercooling degree*

<i>Samples</i> (vol.%)	<i>Freezing (°C)</i> <i>Point</i>	Kalor yang diserap (kal/ml)	<i>Supercooling</i> <i>Degree</i>
<i>Tap water</i>	0	129,75	1
<i>Mineral water</i>	0	109,5	1,3
<i>Demin water</i>	0	114	1,6
Minyak jarak	-	49,5	0
10/90 (M/A)	-0,6	102	0,6
20/80 (M/A)	-0,8	97,5	0,5
30/70 (M/A)	-1,1	73,5	0

4.2 Hasil Pengujian Kalor Yang Diserap *Phase Change Material*

Pada pengujian pengaruh penambahan minyak jarak pagar dalam air, data yang didapatkan adalah *freezing point*, *melting point* dan kapasitas kalor laten dari PCM yang didapat dari *thermocouple*. Untuk mendapatkan data kalor laten, maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut dengan asumsi kalor yang dilepas air sama dengan kalor yang diserap PCM:

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta t$$

Keterangan:

Q = Kalor

m = Massa (gram)

C = Kalor jenis air ($\text{kal gr}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

Δt = Suhu ($^\circ\text{C}$)

Perhitungan kalor yg diserap masing-masing *phase change material*. Pada perhitungan ini, diasumsikan kalor yang dilepas air sama dengan kalor yang diserap *phase change material*.

1. Larutan minyak jarak pagar dalam air

a. 10%

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta t$$

$$Q = 500\text{g} \cdot 1 \text{ kal gr}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (24,37 - 19,87)$$

$$Q = 2250 \text{ kal}$$

b. 20%

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta t$$

$$Q = 500\text{g} \cdot 1 \text{ kal gr}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (23,69 - 21,67)$$

$$Q = 1010 \text{ kal}$$

c. 30%

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta t$$

$$Q = 500\text{g} \cdot 1 \text{ kal gr}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot (23,44 - 18,98)$$

$$Q = 2230 \text{ kal}$$

2. Air

a. *Tap water*

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta t$$

$$Q = 500\text{g} \cdot 1 \text{ kal gr}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot (26,50902 - 21,31316)$$

$$Q = 2597,93 \text{ kal}$$

b. *Demineralized water*

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta t$$

$$Q = 500\text{g} \cdot 1 \text{ kal gr}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot (26,69078 - 22,12342)$$

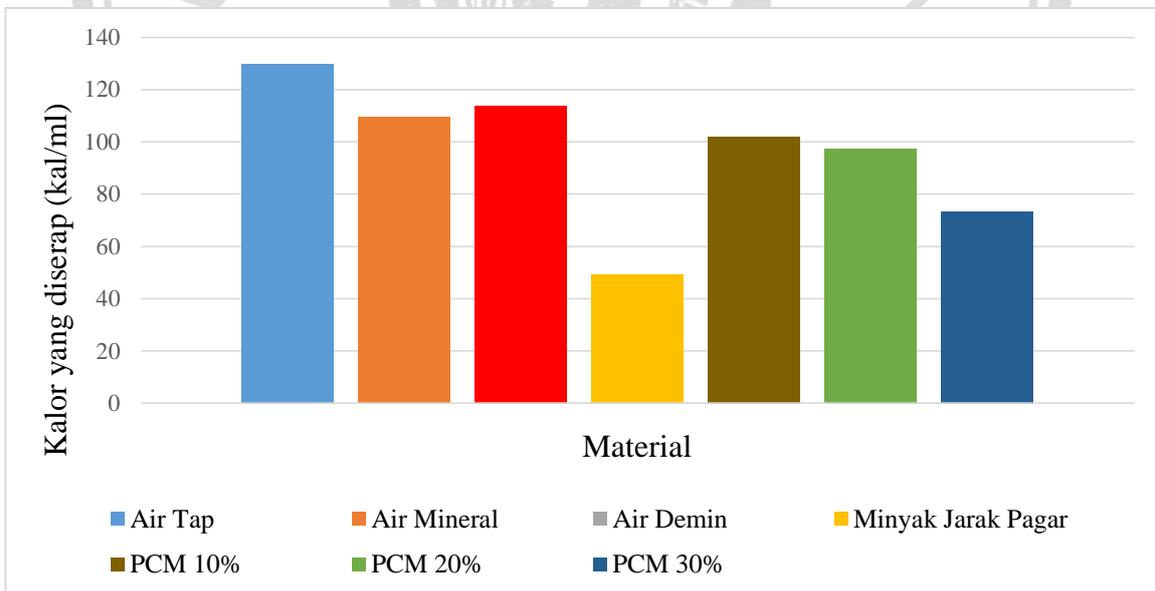
$$Q = 2283,68 \text{ kal}$$

c. *Mineral water*

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta t$$

$$Q = 500\text{g} \cdot 1 \text{ kal gr}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot (24,24655 - 19,86634)$$

$$Q = 2190,10 \text{ kal}$$

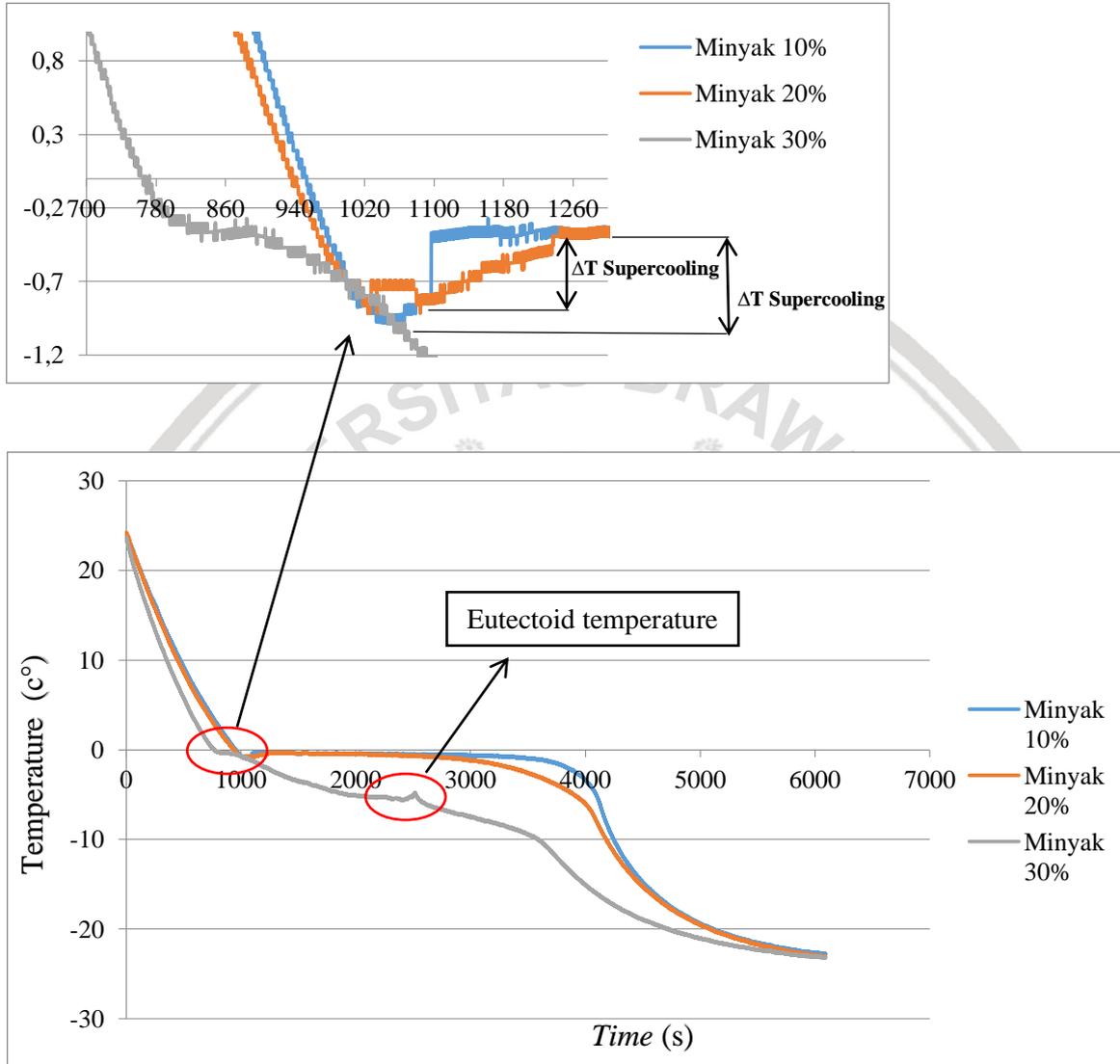


Gambar 4.2 Kalor yang diserap *phase change material*

Gambar 4.2 menunjukkan grafik jumlah kalor yang diserap *phase change material* setelah dilakukan peleburan untuk pengambilan datanya. Hal ini menunjukkan bahwa meningkatnya jumlah minyak jarak pagar dalam air akan menurunkan jumlah kalor yang dapat diserap *phase change material*. *phase change material* dengan persentase minyak

10% paling banyak menyerap kalor, yaitu 102 kal/ml. Sedangkan *phase change material* dengan persentase minyak 30% menyerap kalor paling sedikit, yaitu hanya 73,5 kal/ml.

4.2.1 Freezing Point Phase Change Material



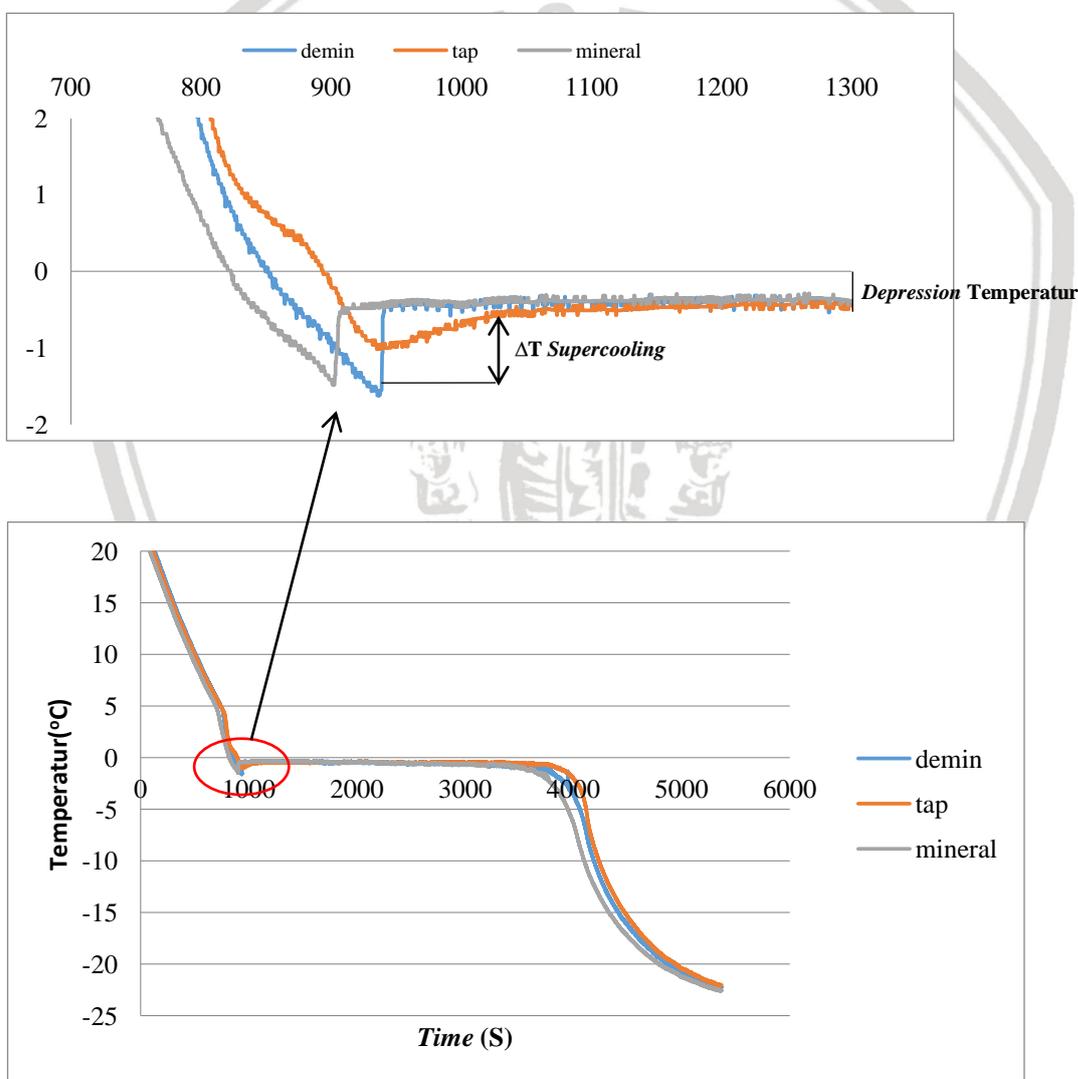
Gambar 4.3 Grafik pendinginan air yang ditambahkan minyak jarak pagar

Dari Gambar 4.3 diatas merupakan grafik yang di dapat setelah pengambilan data beberapa kali untuk hasil yang di inginkan. Dapat dilihat bahwa semakin banyak campuran minyak jarak dalam air maka suhu bekunya pun semakin menurun. Hal ini sudah sesuai dengan teori, dikarenakan sifat koligatif dari larutan, dimana jika suatu zat dicampurkan dengan zat lain maka suhu bekunya akan menurun. PCM dengan suhu paling tinggi yaitu PCM dengan minyak sebesar 30%, kemudian PCM dengan minyak sebesar 20% dan yang terakhir PCM dengan minyak sebesar 10%. Pada Gambar 4.3 terlihat panah yang

menunjukkan terjadi *supercooling* ini disebabkan kondisi dimana air masih tetap mencair dibawah 0°C . Pada campuran minyak 30% terlihat pada grafik terjadi kenaikan suhu ini terjadi awal inti es terbentuk. Hal ini terjadi karena air dan minyak belum membeku sepenuhnya.

Semakin banyak campuran dari minyak jarak pagar dalam air, maka kalor laten dari PCM akan bertambah kecil. Hal ini terjadi karena air yang memiliki kalor laten yang besar dicampurkan dengan minyak jarak pagar yang memiliki kalor laten yang kecil, yang menyebabkan campuran keduanya memiliki kalor laten yang lebih kecil dari air dan lebih besar dari minyak jarak pagar.

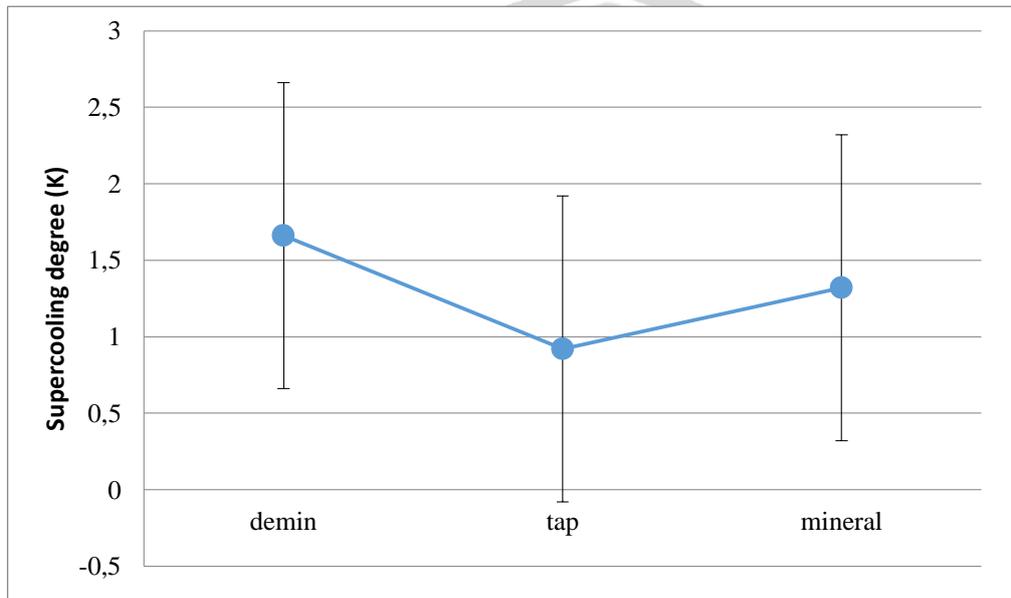
4.2.2 Freezing Point Air



Gambar 4.4 *Supercooling* pada berbagai macam air

Gambar 4.4 merupakan proses pembekuan dari air demin, air tap dan air mineral. Pada gambar menunjukkan terjadinya *supercooling* pada berbagai macam air. *Supercooling*

yang terjadi pada air dipengaruhi oleh tingkat kemurnian air. Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa air demin memiliki suhu *supercooling* paling besar dikarenakan air demin merupakan H₂O murni. Di bawahnya ada air mineral yang memiliki suhu *supercooling* diantara air demin dan air tap. Suhu *supercooling* air mineral lebih rendah dikarenakan adanya mineral yang terkandung didalamnya. Sedangkan yang memiliki suhu *supercooling* paling rendah yaitu air tap yang disebabkan oleh air tap mengandung zat-zat pengotor/partikel asing seperti mineral dan debu yang mengakibatkan suhu *supercooling* air tap rendah.



Gambar 4.5 Derajat *supercooling* air

Tabel 4.2

Derajat *Supercooling* pada Air

<i>Material</i>	<i>Derajat Supercooling</i>
<i>Tap water</i>	0,92 ± 0,571839
<i>Mineral water</i>	1,32 ± 0,664831
<i>Demin water</i>	1,66 ± 0,602495

Pada Gambar 4.5 diatas merupakan suhu *supercooling* dari berbagai macam air yang telah diambil sebanyak beberapa kali percobaan. Air demin memiliki derajat *supercooling* yang paling tinggi yaitu sebesar 1,66 ± 0,571839 Setelah itu ada mineral water yang memiliki derajat *supercooling* sebesar 1,32 ± 0,664831 dan yang terakhir adalah air tap yang memiliki derajat *supercooling* sebesar 0,92 ± 0,602495.

Besarnya derajat *supercooling* dipengaruhi oleh laju pendinginan dan ada atau tidaknya partikel asing dalam air yang berperan sebagai agen nukleator. Terjadinya

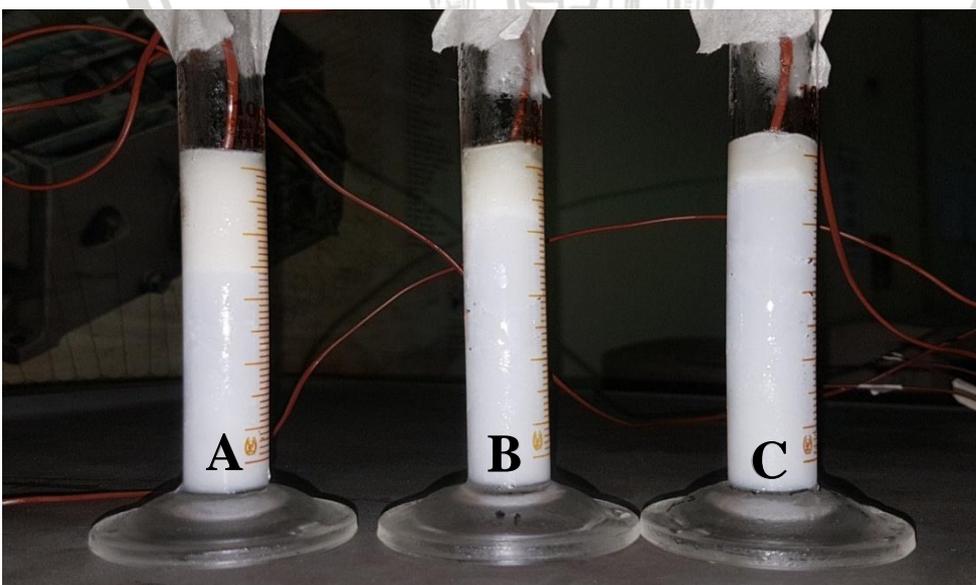
supercooling harus dihindari pada *phase change material* karena terjadinya *supercooling* akan membutuhkan energi yang lebih besar untuk membantu inti es.

4.3 Efek Pembekuan Terhadap PCM (*Phase Change Material*)



Gambar 4.6 Campuran minyak jarak dengan air sebelum proses pembekuan

Pada Gambar 4.6 material dalam gelas ukur (A. 30/70)(M/A), B. 20/80(M/A), C. 10/90(M/A) yang tercampur sebelum proses pembekuan berlangsung. Air dan minyak dapat bercampur karena adanya zat tambahan *emulsifire* yang berguna untuk menjaga kestabilan air dan minyak.



Gambar 4.7 Campuran minyak jarak dengan air saat membeku

Pada Gambar 4.7 campuran minyak dan air yang sedang membeku menyatu meskipun tidak semuanya terlarut. Hal ini dikarenakan air dan minyak mempunyai ikatan yang berbeda. Suatu senyawa dapat disatukan dengan air (H_2O) apabila senyawa tersebut memiliki sifat polaritas seperti air, semisal garam dapur ($NaCl$) sisi Na bermuatan positif sedangkan sisi Cl bermuatan negatif sehingga ketika $NaCl$ dicampur dengan air, $Na(+)$ akan terikat dengan $O(-)$ sedangkan $Cl(-)$ akan terikat dengan $H(+)$



Gambar 4.8 campuran minyak jarak dengan air sesudah dibekukan dan mencair

Pada Gambar 4.8 terlihat hasil campuran minyak jarak pagar dengan air (A. 30/70)(M/A), B. 20/80(M/A), C. 10/90(M/A) setelah proses pembekuan dan mencair. pada gambar diatas material tersebut terpisah antara air dan minyak. Hal ini disebut sifat koligatif larutan, dimana sifat koligatif larutan merupakan sifat dari suatu larutan yang hanya bergantung pada zat terlarut, bukan pelarut. Terlihat pada gambar 4.8 H_2O hanya berikatan dengan senyawa H_2O untuk membentuk senyawa kristal (kristal es). Zat-zat yang lain dikeluarkan dari ikatan sehingga minyak lebih mudah terpisah ketika dicairkan kembali.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian mengenai pengaruh penambahan minyak jarak pagar dalam air sebagai *phase change material* didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan minyak jarak pagar dalam air akan menurunkan titik bekunya. Suhu dari yang terendah adalah campuran dengan persentase minyak jarak pagar 30%, selanjutnya persentase minyak jarak pagar 20% dan persentase minyak jarak pagar 10%.
2. Penambahan minyak jarak pagar juga mempengaruhi kalor laten dari campuran minyak jarak pagar dengan air. Semakin banyak persentase minyak jarak pagar dalam air, maka kalor latennya akan semakin menurun.

5.2 Saran

1. Sebaiknya alat pengujian menggunakan wadah yang dapat terlihat dari luar. Sehingga peneliti dapat mengamati proses pembekuan dari *phase change material*.
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan lebih memperbanyak materi tentang karakteristik bahan yang akan dijadikan *phase change material* agar mendapatkan bahan yang sesuai.
3. Perlu dilakukan penelitian lagi bahan lainnya untuk dijadikan *phase change material*. Karena dengan berkembangnya zaman maka diperlukan bahan *phase change material* yang dapat digunakan ke berbagai aplikasi.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian mengenai pengaruh penambahan minyak jarak pagar dalam air sebagai *phase change material* didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan minyak jarak pagar dalam air akan menurunkan titik bekunya. Suhu dari yang terendah adalah campuran dengan persentase minyak jarak pagar 30%, selanjutnya persentase minyak jarak pagar 20% dan persentase minyak jarak pagar 10%.
2. Penambahan minyak jarak pagar juga mempengaruhi kalor laten dari campuran minyak jarak pagar dengan air. Semakin banyak persentase minyak jarak pagar dalam air, maka kalor latennnya akan semakin menurun.

5.2 Saran

1. Sebaiknya alat pengujian menggunakan wadah yang dapat terlihat dari luar. Sehingga peneliti dapat mengamati proses pembekuan dari *phase change material*.
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan lebih memperbanyak materi tentang karakteristik bahan yang akan dijadikan *phase change material* agar mendapatkan bahan yang sesuai.
3. Perlu dilakukan penelitian lagi bahan lainnya untuk dijadikan *phase change material*. Karena dengan berkembangnya zaman maka diperlukan bahan *phase change material* yang dapat digunakan ke berbagai aplikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Atul, Sharma. 2014. *Development of Phase change materials (PCMs) For Low Temperatue Energy Storage Applications*
- Cunha, Jose Pereira. 2016. *Thermal Energy Storage for Low and Medium Temperature Applications Using Phase Change Materials. Loughborough University. Loughborough. United Kingdom.*
- Hasibuan, Siti. 2016. Perbandingan Daya Hambat Ekstrak Daun Jarak Pagar Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus Aureus* Dan *Escherichia Coli* Secara *In Vitro*. Universitas Lampung. Indonesia
- Cunha, Jose Pereira. 2016. *Thermal Energy Storage for Low and Medium Temperature Applications Using Phase Change Materials. Loughborough University. Loughborough. United Kingdom.*
- Hindawi. 2016. *Journals jther.org*
- Openshaw, Keith. 2000. *A Review of Jatropha Curcas: An Oil Plant of Unfulfilled Promise. Alternative Energy Development Inc.. Silver Spring. MD. USA*
- Pengertian-senyawa-polar 2011.scribd.com (21 april 2017)
- Philipball, 2011. *Water and life : seeking the solution, nature* 436
- Politala, 2011. Minyak lemak nabati. ac.id/index.php/JTI/article/views/24 (Diakses 21 april 2017)
- Portagaruda, 2011. *Compile JKK Vol.33_No.1 compile.org* (Diakses 21 april 2017)
- Rousse, Daniel. 2010. *An Overview of Phase Change Materials and their Implication on Power Demand.*
- Sarimole, Ema. 2014. Manfaat Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*) Sebagai Obat Tradisional. Universitas Kristen Satya Wacana. Salatiga. Indonesia.
- Sarmibertis,2011. *Castor oil. Canada*
- T.Thenbs.2009.*knowledge/phas-change-materials-applications-in-the-built-environment.University Loughborough*
- Yuniaminhoos. 2013.Energi Alternatif Dari Buah Jarak Pagar vol.1.org (Diakses 22 april 2017)