

**PENGARUH PENGGUNAAN MINYAK KELAPA PADA DINDING
SEBAGAI PENYIMPANAN ENERGI TERMAL TERHADAP KONSUMSI
ENERGI SISTEM PENGONDISIAN UDARA**

(Skripsi)

Oleh

**MUHAMMAD AZKA
NPM 1515021032**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2021

ABSTRAK

PENGARUH PENGGUNAAN MINYAK KELAPA PADA DINDING SEBAGAI PENYIMPANAN ENERGI TERMAL TERHADAP KONSUMSI ENERGI SISTEM PENGONDISIAN UDARA

Oleh :

MUHAMMAD AZKA

Sistem pengkondisian udara atau (*Air Conditioning System*) merupakan mesin yang dibuat untuk menstabilkan suhu dan kelembapan udara di suatu ruangan tergantung kebutuhan yang diinginkan. Namun penggunaan AC memerlukan energi yang cukup besar, sehingga penggunaan energi listrik menjadi meningkat. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif lain untuk mengondisikan udara didalam ruangan pada suatu bangunan yang dapat menghemat energi listrik. Salah satu cara mengurangi beban termal didalam ruangan adalah dengan menggunakan material berubah fasa. Material berubah fasa (*phase change material* disingkat PCM) merupakan aplikasi pendinginan pasif yang berfungsi untuk menyimpan energi termal dalam jumlah yang cukup besar dengan memanfaatkan panas laten dari PCM yang terjadi pada saat material berubah fasa. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan PCM berupa minyak kelapa pada dinding sebagai penyimpanan energi termal terhadap konsumsi energi listrik mesin pengondisian udara. Adapun variasi temperature udara masuk dari mesin pengondisian udara yang digunakan adalah 20°C, 22°C dan beban termal yang digunakan adalah 200 watt, 400 watt, 600 watt dan 800 watt. Penelitian ini dilakukan selama 8 jam pengujian guna untuk mengetahui perubahan temperatur ruangan dan konsumsi energi listrik yang dihasilkan. Hasil dari pengujian PCM berupa

minyak kelapa pada ruangan menunjukkan bahwa semakin tinggi beban termal yang digunakan maka semakin tinggi temperatur ruangan yang dihasilkan dan semakin tinggi beban termal yang digunakan maka semakin besar konsumsi energi listrik. PCM belum mampu membantu menyerap termal ruangan bahkan PCM sendiri mempunyai panas yang ikut dilepaskan sehingga temperature ruangan lebih tinggi dibandingkan ruangan tanpa menggunakan PCM.

Kata Kunci: AC, PCM, Minyak Kelapa

ABSTRACT

THE EFFECT OF THE USE OF COCONUT OIL ON WALLS AS THERMAL ENERGY STORAGE ON ENERGY CONSUMPTION OF AIR CONDITIONING SYSTEMS

By:

MUHAMMAD AZKA

Air conditioning system or (Air Conditioning System) is a machine that is made to stabilize the temperature and humidity of the air in a room depending on the desired needs. However, the use of AC requires a large amount of energy, so that the use of electrical energy increases. Therefore, there is a need for other alternatives to condition the air in the room in a building that can save electrical energy. One way to reduce the thermal load in the room is to use a phase changing material. Phase change material (PCM abbreviated) is a passive cooling application that functions to store large amounts of thermal energy by utilizing the latent heat of PCM that occurs when the material changes phase. This research was conducted with the aim of knowing the effect of using PCM in the form of coconut oil on the wall as thermal energy storage on the electrical energy consumption of air conditioning machines. The variations in the intake air temperature from the air conditioning machine used are 20°C, 22°C and the thermal load used is 200 watts, 400 watts, 600 watts and 800 watts. This research was conducted for 8 hours of testing in order to determine changes in room temperature and the consumption of electrical energy produced. The results of PCM testing in

the form of coconut oil in the room show that the higher the thermal load used, the higher the resulting room temperature and the higher the thermal load used, the greater the consumption of electrical energy. PCM has not been able to help absorb room thermal even PCM itself has heat that is also released so that the room temperature is higher than the room without using PCM.

Keywords: AC, PCM, Coconut Oil

**PENGARUH PENGGUNAAN MINYAK KELAPA PADA DINDING
SEBAGAI PENYIMPANAN ENERGI TERMAL TERHADAP KONSUMSI
ENERGI SISTEM PENGONDISIAN UDARA**

Oleh

MUHAMMAD AZKA

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2021

Judul Skripsi

: **PENGARUH PENGGUNAAN MINYAK
KELAPA PADA DINDING SEBAGAI
PENYIMPANAN ENERGI TERMAL
TERHADAP KONSUMSI ENERGI SISTEM
PENGONDISIAN UDARA**

Nama Mahasiswa

: **Muhammad Azka**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1515021032**

Jurusan

: **Teknik Mesin**

Fakultas

: **Teknik**



Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.
NIP 197112142000121001

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

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Kepala Program Studi S1
Teknik Mesin

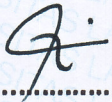
Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP. 19710331 19990310 03

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



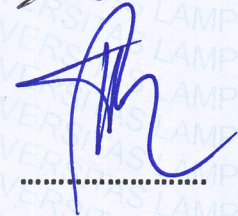
.....

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



.....

Penguji Utama : **Amrizal, S.T.,M.T.,Ph.D.**



.....

2. Dekan Fakultas Teknik



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **14 September 2021**

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL PLAGIAT
SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN AKADEMIK
UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR
No.3187/H26/PP/2010

Yang Membuat Pernyataan



MUHAMMAD AZKA

NPM : 1515021032

Riwayat Hidup



Penulis dilahirkan pada tanggal 16 Agustus 1997 di Palembang sebagai anak pertama dari empat bersaudara, dilahirkan dari pasangan Bapak Yusup dan Ibu Unainah. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 05 Kerkap Kota Argamakmur pada tahun 2009, Sekolah Menengah Pertama 01 Kerkap Kota Argamakmur pada tahun 2012, dan Sekolah Menengah Atas Swasta Tri Sukses Lampung Selatan pada tahun 2015. Setelah itu penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2015. Selama menjadi mahasiswa, penulis menjadi Pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai kepala divisi Keagamaan dan Kerohanian untuk periode 2017-2018 selanjutnya penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di Pertamina Refinery Unit (RU) III Plaju pada tahun 2018. Sejak tahun 2019 bulan Januari, penulis mulai melakukan penelitian tugas akhir (skripsi) dengan judul **“Pengaruh penggunaan minyak kelapa pada dinding sebagai penyimpanan energi termal terhadap konsumsi energi sistem pengondisian udara”** Penulis mengerjakan skripsi dibawah bimbingan Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. sebagai pembimbing utama dan Bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng. sebagai pembimbing kedua, serta Bapak Amrizal, S.T.,M.T.,Ph.D. sebagai penguji utama.

“Bersyukur atas semua nikmat Allah merupakan hal yang diharuskan kepada manusia untuk bias merasa kaya”

(Nabi Muhammad SAW)

“Dunia ini ibarat bayangan, kalau kau berusaha menangkapnya maka ia akan berlari tetapi kalau kau membelakanginya, ia tidak punya pilihan lain selain mengikutimu”

(Ibnu Qayyim Al Jauziyyah)

“Manusia yang beruntung itu bukan yang punya segalanya, tapi yang bias mensyukuri keadaanya”

(Fiersa Besari)

“Untuk mendapatkan apa yang kau suka, pertama kau harus sabar dengan apa yang kamu benci”

(Imam Al Ghazali)

“if you don't go to heaven you will go to hell”

(Known)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. Karena-Nya penulis diberi banyak nikmat dan rahmat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Shalawat serta salam juga penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW yang dinantikan syafa'atnya di yaumul akhir nanti.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang selama ini telah membantu, mendukung, dan membimbing hingga selesainya skripsi ini, Oleh karena itu, sebagai wujud rasa hormat, penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak sebagai berikut :

1. Kedua orang tuaku yang sangat kucintai, Bapak Yusup dan Ibu Unainah, yang senantiasa memberikan kasih sayang dan dukungan yang tak terbatas dan takkan terbalaskan, adik-adikku tercinta Aulia Zakiyyah, Arini Muzakki dan Naila Azkiya dan keluargaku di Palembang dan Bogor yang selalu menjadi motivasi bagiku.
2. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T sebagai Kajur Teknik Mesin Unila.
4. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. selaku pembimbing utama tugas akhir, yang telah banyak meluangkan waktu, ide, perhatian dan sabar untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini..

5. Bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng. selaku pembimbing kedua tugas akhir ini, yang telah banyak mencurahkan waktu dan fikirannya bagi penulis serta motivasi yang diberikan.
6. Bapak Amrizal, S.T.,M.T.,Ph.D., selaku pembahas tugas akhir ini, yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang sangat bermanfaat bagi penulis.
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin atas ilmu yang telah diberikan selama penulis melaksanakan studi, baik materi akademik dan motivasi untuk masa yang akan datang. Tak lupa juga terima kasih kepada staff dan karyawan Gedung H Teknik Mesin Universitas Lampung.
8. PPM Baitusshodiq beserta para Dewan guru dan pengurus pondok yang sudah memberikan tempat bagi saya untuk lebih berkembang.
9. Teman-teman Jaya E-Sport, GEV E-Sport, LA Squad Khafid, Beni, Malik, Sulton, mas Fakhir, Arif, Rendi, Rochmat, Firman, Fadli, Rizal, Falah
10. Orang-orang terdekatku, Teten Beliantara, M. Irvan Ramadhan, M. Hawari Perdana, Muhammad Dhuha Syahbana, Tommy Rizky Putra Perdana, M. Ilham Saputra, Kepada teman-teman seperjuangan **“TEKNIK MESIN 2015”** yang menjadi teman penulis dari awal mengenyam pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung selama ini. **“SOLIDARITY FOREVER”**
11. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung.
12. Semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan, yang telah ikut serta membantu dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan yang terdapat pada skripsi ini. Karenanya, penulis mengharapkan kritikan dan masukan demi kesempurnaan skripsi ini.

Penulis juga mengharapkan skripsi yang sederhana ini dapat memberikan inspirasi dan berguna bagi kalangan civitas akademik maupun masyarakat Indonesia. Aamiiin.

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, 10 Oktober 2021
Penulis,

Muhammad Azka

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERNYATAAN PENULIS.....	iv
RIWAYAT HIDUP.....	v
MOTTO.....	vi
SANWACANA.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR SIMBOL.....	xi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian.....	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Sistematika Penulisan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. <i>Phase Change Material</i> (PCM).....	6
1. Organik.....	7
2. Inorganik.....	8
3. Eutatic.....	9
B. Sifat termal PCM.....	10
1. Panas laten.....	12
2. Panas sensibel.....	13
3. Super cooling.....	14
C. Kenyamanan termal.....	15

D. Minyak Kelapa.....	16
E. Perpindahan panas.....	17
1. Konduksi.....	17
2. Konveksi.....	18
3. Radiasi	19
F. Metode penyimpanan energi	20

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Pelaksanaan	25
B. Tahapan Penelitian	26
1. Studi Literatur	27
2. Persiapan	27
3. Pelaksanaan percobaan.....	27
4. Analisa data	27
5. Penulisan laporan	28
C. Alat dan Bahan	28
1. Alat	28
2. Bahan.....	34
D. Metode Pengujian	35
E. Variabel Pengujian	36
F. Alur Pengerjaan Proyek Akhir	37

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh pembebanan pada konsumsi energi dengan <i>Phase change material</i>	39
B. Perbandingan konsumsi energi sistem pengondisian udara tanpa menggunakan PCM dan menggunakan PCM.....	48
C. Analisa temperatur ruangan menggunakan PCM dan tanpa PCM	60

D. Perbandingan rasio ruangan PCM berupa minyak kelapa68

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan 72

B. Saran 73

DAFTAR PUSTAKA..... 74

LAMPIRAN..... 75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan berbagai jenis PCM.....	7
Tabel 3.1 Rincian Jadwal Penelitian.....	26
Tabel 3.2 Variabel Pengujian.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Klasifikasi <i>Phase Change Materials</i>	6
Gambar 2.2. Pelelehan dan pembekuan.....	10
Gambar 2.3. Grafik perlakuan panas	10
Gambar 2.4. Minyak Kelapa Barco	16
Gambar 2.5. Perpindahan panas secara konduksi pada sebuah dinding dengan ketebalan Δx dan penampang A	18
Gambar 2.6. Konveksi paksa dan konveksi alami	18
Gambar 3.1. Skema pengujian	27
Gambar 3.2. <i>Air conditioner</i>	28
Gambar 3.3. Termometer dan Thermokopel.....	29
Gambar 3.4. Power meter	30
Gambar 3.5. Heater	30
Gambar 3.6. Kipas angin	31
Gambar 3.7. Wadah PCM (Aluminium Hollow).....	32
Gambar 3.8. Minyak Kelapa.....	33

Gambar 4.1. Grafik temperatur ruangan dan komsumsi energi mesin pengondisian udara temperatur 20 °C dengan variasi beban termal 200 watt38

Gambar 4.2. Grafik temperatur ruangan dan komsumsi energi mesin pengondisian udara temperatur udara masuk 20 °C dengan variasi beban termal 400 watt.....38

Gambar 4.3. Grafik temperatur ruangan dan komsumsi energi mesin pengondisian udara temperatur udara masuk 20 °C dengan variasi beban termal 600 watt.....39

Gambar 4.4. Grafik temperatur ruangan dan komsumsi energi mesin pengondisian udara temperatur udara masuk 20 °C dengan variasi beban termal 800 watt.....39

Gambar 4.5. Grafik temperatur ruangan dan komsumsi energi mesin pengondisian udara temperatur udara masuk 22 °C dengan variasi beban termal 200 watt.....42

Gambar 4.6. Grafik temperatur ruangan dan komsumsi energi mesin pengondisian udara temperatur udara masuk 22 °C dengan variasi beban termal 400 watt.....42

Gambar 4.7. Grafik temperatur ruangan dan komsumsi energi mesin pengondisian udara temperatur udara masuk 22 °C dengan variasi beban termal 600 watt.....43

Gambar 4.8. Grafik temperatur ruangan dan konsumsi energi mesin pengondisian udara temperatur udara masuk 22 °C dengan variasi beban termal 800 watt.....43

Gambar 4.9. Grafik konsumsi energi total dari setiap variasi temperatur udara masuk dan variasi beban termal heater45

Gambar 4.10. Grafik konsumsi energi total mesin pengondisian udara dan ruangan pada temperatur udara masuk 20 °C menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 200 watt.....47

Gambar 4.11. Grafik konsumsi energi total mesin pengondisian udara dan ruangan pada temperatur udara masuk 20 °C menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 400 watt.....48

Gambar 4.12. Grafik konsumsi energi total mesin pengondisian udara dan ruangan pada temperatur udara masuk 20 °C menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 600 watt.....48

Gambar 4.13. Grafik konsumsi energi total mesin pengondisian udara dan ruangan pada temperatur udara masuk 20 °C menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 800 watt.....49

Gambar 4.14. Grafik konsumsi energi total mesin pengondisian udara dan ruangan pada temperatur udara masuk 22 °C menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 200 watt.....50

Gambar 4.15. Grafik konsumsi energi total mesin pengondisian udara dan ruangan pada temperatur udara masuk 22 °C menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 400 watt..... 51

Gambar 4.16. Grafik konsumsi energi total mesin pengondisian udara dan ruangan pada temperatur udara masuk 22 °C menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 600 watt..... 51

Gambar 4.17. Grafik konsumsi energi total mesin pengondisian udara dan ruangan pada temperatur udara masuk 22 °C menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 800 watt..... 52

Gambar 4.18. Perbandingan total konsumsi energi mesin pengondisian udara menggunakan PCM dan tanpa PCM temperatur udara masuk 20°C 57

Gambar 4.19. Perbandingan total konsumsi energi mesin pengondisian udara menggunakan PCM dan tanpa PCM temperatur udara masuk 22°C 57

Gambar 4.20. Grafik temperatur ruangan pada temperatur udara masuk 20 °C watt menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 200 watt 59

Gambar 4.21. Grafik temperatur ruangan pada temperatur udara masuk 20 °C watt menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 400 watt 59

Gambar 4.22. Grafik temperatur ruangan pada temperatur udara masuk 20 °C watt menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 600 watt 60

Gambar 4.23. Grafik temperatur ruangan pada temperatur udara masuk 20 °C
watt menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 800 watt 60

Gambar 4.24. Grafik temperatur ruangan pada temperatur udara masuk 22 °C
watt menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 200 watt 62

Gambar 4.25. Grafik temperatur ruangan pada temperatur udara masuk 22 °C
watt menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 400 watt 62

Gambar 4.26. Grafik temperatur ruangan pada temperatur udara masuk 22 °C
watt menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 600 watt 63

Gambar 4.27. Grafik temperatur ruangan pada temperatur udara masuk 22 °C
watt menggunakan PCM dan tanpa PCM dengan variasi beban termal 800 watt 63

Gambar 4.28. Grafik temperatur terhadap waktu pada miniatur bangunan antara
dinding PCM dan dinding non-PCM..... 68

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan Unit
A	Luas permukaan	m^2
dT	Perbedaan temperatur	K
h	Koefisien perpindahan panas konveksi	W/ $m^2 \cdot ^\circ C$
Q	Energi	KJ
q	Laju perpindahan panas	W
m	Massa PCM	Kg
C_p	Panas spesifik	kJ/kg. $^\circ C$
L	Panas laten	kJ/kg
Δx	Persentase padatan	%
ΔT	Perbedaan temperatur	$^\circ C$

subscribe

<i>f</i>	<i>Final</i>
<i>ft</i>	<i>Fluid tank</i>
<i>i</i>	<i>Initial</i>
<i>in</i>	Masuk
<i>l</i>	<i>Liquid</i>
<i>out</i>	<i>Keluar</i>
<i>s</i>	<i>Solid</i>
<i>sl</i>	<i>Solid liquid</i>

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara beriklim tropis lembab dengan temperatur udara pada umumnya antara 24°C – 32°C dengan kelembaban 60 – 95% (Prasasto Satwiko 2004). Hal ini mengakibatkan banyak daerah di Indonesia harus menggunakan sistem ventilasi buatan untuk mendapatkan kondisi udara yang nyaman di dalam ruangan yaitu dengan memasang mesin penyejuk udara atau yang lebih dikenal dengan Air Conditioner (AC). Namun penggunaan AC sebagai penyejuk udara dalam ruangan memerlukan energi yang cukup besar, sehingga penggunaan energi listrik menjadi meningkat.

Berdasarkan data Kementerian ESDM, capaian konsumsi listrik pada 2019 baru sebesar 1.084 kWh per kapita, adapun targetnya sebesar 1.200 kWh per kapita. Sementara itu, target konsumsi listrik pada 2020 sebesar 1.142 kWh per kapita. Targetnya terus mengalami peningkatan menjadi 1.203 kWh per kapita pada 2021, 1.208 kWh per kapita pada 2022, 1.268 kWh per kapita pada 2022, 1.336 kWh per kapita pada 2023, dan akhirnya menjadi 1.408 kWh per kapita pada 2024. "Peningkatan konsumsi listrik (menjadi) 1.408

per kWh per kapita dibandingkan negara-negara Asean yang dikatakan maju, kita agak tertinggal (Arifin, 2019).

Untuk pelaksanaan penghematan energi pada bangunan komersial dan instansi pemerintah, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 0031 Tahun 2005 menyebutkan bahwa penghematan bisa dilakukan dengan cara mengatur suhu ruangan ber AC pada suhu minimal 25°C. Sistem AC (*Air Conditioning*) pada umumnya digunakan untuk mengondisikan udara di dalam ruangan pada suatu bangunan. AC (*Air conditioning*) merupakan sistem pengondisian udara aktif. Akan tetapi, biaya energi listrik untuk sistem AC tidaklah murah, dari data yang didapatkan, energi listrik sistem AC mencapai 50%-70% dari keseluruhan konsumsi energi listrik pada bangunan . Oleh karena itu, perlu adanya alternatif lain untuk mengondisikan udara didalam ruangan pada suatu bangunan yang dapat menghemat energi listrik, salah satunya adalah menggunakan material berubah fasa untuk mengurangi beban termal di dalam ruangan pada suatu bangunan (Loekita, 2006).

Material berubah fasa atau *phase change material* (PCM) adalah suatu sistem pengkondisian udara yang mempunyai kemampuan untuk melepaskan energi panas yang sangat tinggi dalam waktu yang cukup lama tanpa mengalami perubahan suhu, material berubah fasa tersebut diharapkan dapat menyimpan energi termal dan dapat menghemat energi listrik. Untuk mengetahui kemampuan PCM sebagai penyimpanan energi termal

konsumsi energi AC pada ruangan maka perlu di lakukan penelitian penerapan PCM di dinding yang berfungsi menyerap energi termal ruangan (Pudjiastuti, 2011).

Penggunaan PCM dapat menunda perpindahan panas dari permukaan dinding luar ke permukaan dalam karena peningkatan kapasitas termal material. Penambahan PCM pada lubang di dalam bata sedikit mengurangi konduktivitas termal dibandingkan dengan bata berlubang. Penggunaan PCM dari minyak kelapa yang diaplikasikan pada permukaan dinding bagian dalam wadah sesuai untuk suhu lingkungan minimum berkisar antara 18 – 20°C, karena PCM masih dapat menjalani proses perubahan fasa lengkap pada 22°C. Proses penyerapan panas pada dinding PCM berlangsung dari pukul 07.00 sampai dengan pukul 18.00, sedangkan proses pelepasan panas kemudian berlangsung pada pukul 22.00 sampai dengan pukul 06.00 (Irsyad,2017).

B. Tujuan

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah “Mengetahui pengaruh penggunaan PCM pada ruangan terhadap konsumsi energi listrik mesin pengondisian udara”.

C. Batasan Masalah

Pada penelitian ini difokuskan pengaruh PCM terhadap konsumsi energi listrik mesin pendingin. Beberapa batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan untuk pengujian yaitu *Aluminium Hollow* dan *Styrofoam*.
2. PCM yang digunakan berupa minyak kelapa
3. *Heater* atau pemanas udara yang di gunakan yaitu 200 watt, 400 watt, 600 wat dan 800 watt di letakan di dalam ruangan sebagai pengganti termal.

D. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Pada bab ini terdiri dari latar belakang, tujuan, Batasan masalah dan sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memuat teori mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian seperti perpindahan panas, penyimpanan enrgi termal dan lainnya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini terdiri atas hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, bahan penelitian, peralatan dan prosedur pengujian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan hasil dan pembahasan dari data-data yang diperoleh pada saat pengujian.

V. PENUTUP

Pada bab ini berisikan hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang digunakan penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir.

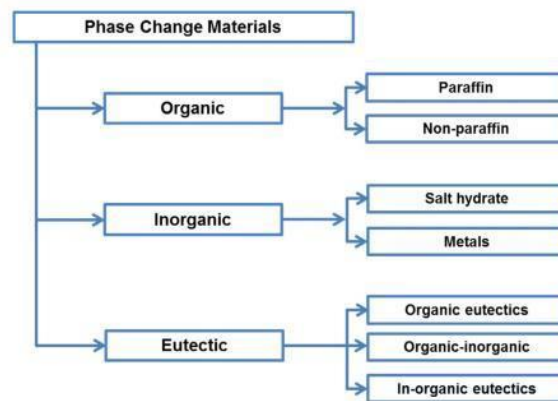
LAMPIRAN

Pada bagian ini berisi perlengkapan laporan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Phase Change Material (PCM)*

Bahan fasa berubah / *Phase Change Material (PCM)* merupakan bahan yang sering digunakan sebagai *passive cooling* untuk menyerap kalor dengan memanfaatkan panas laten. PCM juga salah satu rekayasa selubung bangunan berupa bahan atau substansi tambahan yang diaplikasikan pada selubung bangunan. Tujuan penggunaan PCM yaitu menyerap termal dari lingkungan atau melepaskan termal ke lingkungan sebelum didistribusikan ke dalam bangunan. PCM sebagai penyimpanan energi termal bangunan akan menyerap dan melepaskan energi termal pada suhu yang telah ditentukan dan dijaga. Berikut ini klasifikasi pemanfaatan material dalam perpindahan panas.



Gambar 2.1. Klafisikasi PCM (Sumber: Shamseldin, 2017)

Gambar 2.1 adalah pembagian jenis PCM yang berasal dari 3 komponen utama seperti organik, anorganik dan eutektik. Adapun karakter dari masing- masing PCM tersebut bisa dilihat dari tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbandingan berbagai jenis PCM (D. Zhou et al. 2012)

Klasifikasi PCM	Kelebihan	Kekurangan
Organik	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ketersediaan di berbagai temperatur yang besar 2. Tidak ada pendinginan 3. Kimia stabil dan dapat didaur ulang 4. Baik kompatibilitas dengan bahan lain 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konduktivitas termal rendah (sekitar 0.2 W/m K) 2. Relatif perubahan volume besar 3. <i>Flammability</i>
Anorganik	<ol style="list-style-type: none"> 1. Panas tinggi fusi 2. Konduktivitas termal tinggi (sekitar 0,5 W/m K) 3. Perubahan volume rendah 4. Ketersediaan biaya rendah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Supercooling</i> 2. Korosi
Eutetic	<ol style="list-style-type: none"> 1. Suhu leleh tajam 2. Tinggi volumetrik kepadatan penyimpanan termal 	Kurangnya data uji saat ini tersedia dari sifat termo-fisik

1. Organik

PCM organik memiliki rentang suhu rendah dan terbagi atas *paraffin* dan *non paraffin compound*. PCM organik dapat mengalami proses mencair dan membeku berulang kali tanpa fase segregasi dan degradasi akibat panas laten. PCM organik bersifat non korosif. PCM organik mempunyai rentang suhu rendah dan mempunyai rata – rata panas laten per satuan volume serta densitas rendah (Abbat et al.1981;Budhhji & Sawhney 1994).

a. Parafin

Parafin merupakan ikatan hidrokarbon yang tersusun atas $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$. Dalam hal ini ikatan hidrokarbon jenuh bersifat non polar. Titik leleh dari parafin akan bergantung pada panjang rantai dari ikatan CH_3 . Parafin merupakan senyawa organik yang tidak berbahaya sehingga cocok pada kategori *food grade level*.

b. Non Parafin

Material PCM organik non parafin sering disebut juga dengan *fatty acids* merupakan PCM dengan jumlah variasi paling banyak. Berbeda dengan material parafin, pada material non parafin setiap material memiliki sifat-sifat tersendiri. Pada jenis ini sering dibedakan menjadi kelompok asam lemak dan organik non parafin lain. Material organik non parafin memiliki sifat sebagai berikut.

1. Kalor jenis laten yang tinggi
2. Titik nyala kecil
3. Tidak mudah terbakar
4. Tidak terlalu berbahaya

1. Inorganik

PCM inorganik dibedakan menjadi dua jenis yaitu garam hidrat (*salt hydrates*) dan logam (*metallics*). PCM inorganik tidak terlalu dingin dan peleburan panas tidak akan berkurang selama berlangsungnya siklus (George, 1989).

a. *Salt Hydrates*

Salt hydrates terbentuk dari campuran garam anorganik dengan air yang membentuk padatan kristal tertentu. Sifat dari *salt hydrates* sebagai PCM yaitu:

1. Memiliki panas peleburan laten per satuan volume tinggi
2. Konduktivitas termal relatif tinggi
3. Pada saat berubah fase meleleh, perubahan volume kecil
4. Tidak terlalu korosif, tidak bereaksi dengan plastik, dan hanya beberapa jenis yang beracun

b. *Metallic*

Logam dengan titik leleh rendah dan logam campuran termasuk dalam *metallics*. Penggunaan material *metallics* masih jarang digunakan

karena jumlah / berat bahan yang diperlukan. Namun memiliki panas peleburan laten per satuan volume yang tinggi. Serta termal konduktivitas yang tinggi pada jenis material *metallics*.

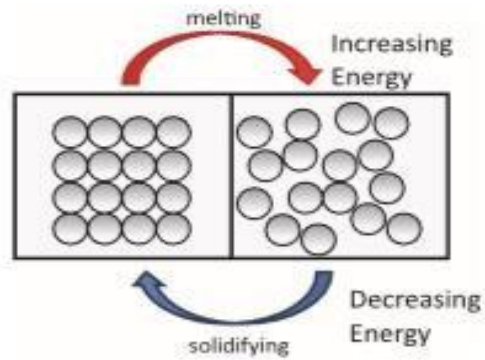
3. Eutactic

Eutactic merupakan kombinasi sebuah komposisi dengan lelehan terendah dari dua komponen atau lebih, masing–masing meleleh dan membeku membentuk campuran dari komponen–komponen kristal selama proses kristalisasi. PCM jenis ini hampir selalu meleleh dan membeku tanpa pemisahan karena mereka membeku menjadi sebuah campuran kristal, memberikan sedikit kesempatan komponen–komponennya untuk memisahkan diri. Pada saat meleleh kedua komponen mencair secara berurutan dengan pemisahan yang tidak diinginkan (Wiwik, 2011).

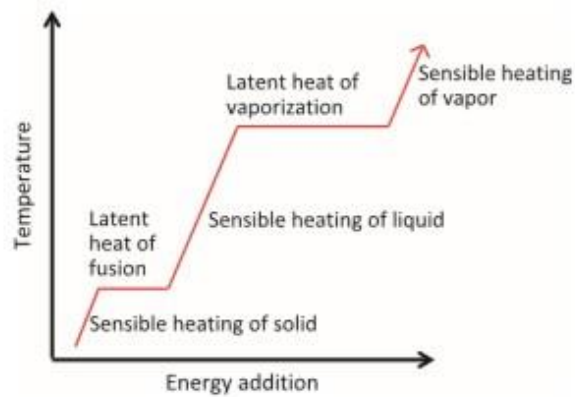
B. Sifat Termal PCM

PCM adalah sebuah bahan 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.



Gambar 2.2. Pelelehan dan pembekuan (Amy. 2015)



Gambar 2.3. Grafik perlakuan panas (Amy. 2015)

Gambar 2.2 menjelaskan dimana atom dari PCM akan merenggang saling berjauhan saat terkena sumber panas lalu berubah fasa dari padat ke cair, dan atom PCM akan berhimpitan ketika mendapat sumber dingin untuk berubah fasa dari cair ke padat. Dan 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. Panas laten

Panas laten adalah panas yang diserap atau dibuang oleh suatu benda sehingga merubah wujud benda tersebut. Dalam bahasa latin berarti tersembunyi. Perubahan wujud benda ini tidak disertai dengan perubahan suhunya. Pada panas laten energi panas yang dapat ditransferkan adalah dalam bentuk perubahan fasa dari suatu material tersebut. jumlah energi panas yang diserap atau dilepaskan ketika perubahan fase cair ke fase uap material atau sebaliknya.

Molekul-molekul akan terpecah, jarak antar molekul akan semakin menjauh. Benda akan kehilangan kepadatannya dan lama-kelamaan akan berubah menjadi cairan. Tarik-menarik antar molekul tergantung besarnya energi yang diperlukan untuk mengurangi gaya tarik antar molekul. Dan sebaliknya jika panas diserap oleh benda cair pada titik bekunya maka molekul benda akan semakin mendekat, kepadatan benda tersebut akan semakin padat dan lama-kelamaan cairan akan berubah menjadi benda padat. Jumlah panas yang diperlukan untuk mencairkan atau membekukan 1 pound benda disebut dengan panas laten pencairan atau pembekuan. Panas laten ini sama dengan nilai panas spesifik benda dan sesuai dengan titik beku atau titik cair benda.

2. Panas sensibel

Panas sensibel adalah panas yang diserap atau dibuang oleh suatu benda yang menyebabkan benda tersebut berubah temperaturnya. Kata sensibel dipakai karena perubahan temperatur benda dapat dirasakan dengan menyentuhnya atau diukur menggunakan termometer. Agar mudah memahami tentang konsep energi molekuler, mempertimbangkan akibat dari panas terhadap suatu benda pada kondisi awal termodinamika benda tersebut kita anggap nol energi.

Misalkan suatu benda padat pada suhu $-460\text{ }^{\circ}\text{F}$ (nol absolut) molekul benda tidak mempunyai energi dan dalam kondisi tidak bergerak. Jika panas diberikan pada benda tersebut, molekul benda mulai bergerak perlahan dan suhunya mulai meningkat. Jika semakin banyak panas yang diberikan maka molekul benda akan semakin cepat bergerak dan suhunya semakin tinggi. Kecepatan pergerakan molekul dan suhunya sesuai dengan panas yang diserap sampai benda padat tersebut mencapai titik cair atau titik bekunya. Jumlah panas yang dibutuhkan oleh benda tersebut untuk mencapai titik cair atau titik beku dari kondisi awal (nol absolut) disebut dengan panas sensibel benda padat.

Benda padat akan berubah bentuknya menjadi cairan pada titik cair benda tersebut. Suhu cairan akan meningkat jika ditambahkan sejumlah panas ke cairan tersebut. Panas yang diserap oleh cairan setelah mencair akan

menambah energi kinetiknya. Gerakan molekul akan semakin cepat dan suhunya akan meningkat. Pada titik tertentu molekul akan lepas dan benda akan berubah menjadi uap. Titik ini disebut dengan suhu penguapan. Jumlah panas yang diperlukan cairan untuk mencapai suhu penguapan disebut dengan panas sensibel cairan. Suhu penguapan bisa juga disebut dengan titik didih cairan.

3. *Super Cooling*

Super cooling adalah proses pendinginan cairan dibawah titik bekunya, tanpa berubah fasa dari cair menjadi padat. Jadi 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.

C. **Kenyamanan Termal**

Menurut ASHRAE (*American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers*, 1989) kenyamanan termal adalah suatu kondisi dimana seseorang merasa nyaman dengan keadaan temperatur lingkungannya dan apabila digambarkan dalam konteks nyata dimana seseorang tidak merasakan temperatur udara terlalu panas maupun terlalu

dingin. Adapun faktor-faktor kenyamanan termal menurut ASHRAE (1989), kenyamanan termal dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya:

1. Temperatur Udara

Temperatur udara merupakan salah satu faktor utama dari kenyamanan termal walaupun hal ini bergantung pada ciri perasaan subjektif dan kenyamanan berperilaku. Standar kenyamanan termal untuk kategori hangat nyaman menurut SNI 03-6572-2001 adalah $25,8^{\circ}\text{C} - 27,1^{\circ}\text{C}$.

2. Kelembaban Udara

Kelembaban udara relatif untuk daerah tropis menurut SNI 03-6572-2001 adalah sekitar 40% - 50%. Untuk ruangan yang memiliki kapasitas padat seperti ruang pertemuan, kelembaban udara relatif yang dianjurkan adalah antara 55% - 60%.

3. Kecepatan Udara

Kecepatan udara yang baik menurut SNI 03-6572-2001 adalah 0.25m/s, kecepatan udara tersebut dapat dibuat lebih besar dari 0.25m/s tergantung dari kondisi temperatur udara kering dalam ruangan.

4. Temperatur Radiant

Radiasi matahari mempunyai pengaruh yang besar terhadap kenyamanan termal.

6. Aktivitas

Semua aktivitas yang dilakukan individu akan memberikan pengaruh terhadap peningkatan metabolisme tubuh

D. Minyak Kelapa

Minyak kelapa terdiri dari beberapa asam lemak (*fatty acid*) yang mengandung zat kimia $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$, minyak kelapa sifat karakteristiknya hampir sama dengan parafin. Namun harga minyak kelapa lebih mahal harganya dari parafin (Hasnain, 1998).

Matrial ini memiliki kemampuan stabilitas termal yang cukup tinggi karena mampu bertahan hingga 1500 pengulangan siklus pembekuan dan pencairan (Sharma, 2005). Minyak kelapa terdiri dari prosentase penyusun seperti: asam caprylic (C_8) 9%, Decanonic(C_{10}) 10%, asam Lauric (C_{12}) 52%, asam myristic (C_{14}) 19%, asam palmitic (C_{16}) 11%, dan asam oleic tak tersaturasi (C_{18}) 8% (Widya, 2015).



Gambar 2.4 Minyak kelapa Barco

Gambar 2.4 adalah minyak kelapa bermerek barco yang digunakan dalam penelitian ini, minyak kelapa memiliki *laten heat fusion* sebesar 249 kJ/kg, panas spesifik saat padat sebesar 3,2 kJ/kg°C dan panas spesifik pada keadaan cair sebesar 4,1 kJ/kg°C. Minyak kelapa karakteristik fisik berubah fasa membeku pada temperatur 23°C.

Temperatur berubah fasa minyak kelapa masih bisa dicapai di Indonesia karna termasuk daerah tropis. Minyak kelapa memiliki sifat *subcooling* yang cukup rendah sehingga proses perubahan fasa padat-cair atau sebaliknya dapat terjadi secara reversible disekitar temperatur pencairan. Minyak kelapa juga bersifat non-korosif, sehingga dapat menggunakan berbagai jenis tempat yang terbuat dari logam atau non-logam. Kekurangan dari minyak kelapa ketika diaplikasinya adalah nilai konduktivitas termal yang cukup rendah, sehingga dapat menghambat proses penyerapan dan pelepasan kalornya.

E. Perpindahan Panas

Panas didefinisikan sebagai bentuk energi yang dipindahkan dari suatu sistem ke sistem lain dengan adanya perpindahan panas, sedangkan ilmu tentang menentukan laju perpindahan panas disebut perpindahan panas. Panas dapat dipindahkan menjadi 3 cara :

1. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan energi dari partikel dengan energi yang lebih besar ke energi yang lebih kecil yang letaknya berdekatan. Konduksi dapat terjadi pada benda padat, cair maupun gas. Laju perpindahan panas dengan cara konduksi melalui perantara atau medium yang bergantung kepada ukuran medium, ketebalan medium, material medium dan perbedaan temperatur antara mediumnya dirumuskan pada persamaan 2.1

$$Q_{\text{konduksi}} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \text{ atau } k.A \frac{\Delta T}{L} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

Q = Laju perpindahan panas (kJ/s atau W)

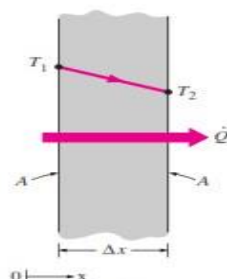
K = konduktivitas termal material (W/m°C)

A = luas penampang material (m²)

ΔT = Perbedaan temperatur (°C)

Δx = Perbedaan jarak (m)

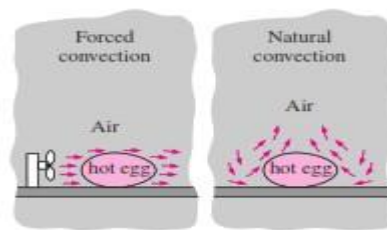
L = Panjang material (m)



Gambar 2.5. Perpindahan panas secara konduksi pada sebuah dinding dengan ketebalan Δx dan penampang A (Cengel, 2003).

2. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan energi antara benda padat dengan benda cair atau gas yang berdekatan dalam sebuah gerak, melibatkan efek konduksi dan gerak fluida. Gerak fluida yang sangat cepat, maka perpindahan panas konveksinya sangat baik begitupun sebaliknya.



Gambar 2.6. Konveksi paksa dan Konveksi alami (Cengel, 2003)

Ada 2 macam perpindahan panas konveksi. Pada Gambar 2.6 menjelaskan konveksi paksa ialah fluida dipaksa mengalir melalui permukaan dengan bantuan kipas, pompa, ataupun angin. Sedangkan konveksi alami adalah fluida yang mengalir melalui permukaan bergerak tanpa bantuan alat. Perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan pada persamaan 2.2

$$Q_{\text{konveksi}} = h.A. \Delta T \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

Q = perambatan kalor tiap satuan waktu (kJ/s atau W)

h = koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$)

A = permukaan benda (m^2)

$\Delta T =$ Perbedaan suhu ($^{\circ}\text{C}$)

3. Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik dalam bentuk atom atau molekul. Tidak seperti konduksi dan konveksi, radiasi tidak membutuhkan medium. Persamaan perpindahan panas secara radiasi dapat dirumuskan pada persamaan 2.3

$$Q_{\text{radiasi}} = \sigma A T^4 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

$Q =$ Kalor yang dipancarkan benda (W)

$\sigma =$ konstanta Stefan Boltzmann $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

$A =$ permukaan benda (m^2)

$T =$ temperatur mutlak (K)

Perpindahan panas secara radiasi paling cepat diantara konveksi maupun radiasi, kecepatannya sama dengan kecepatan cahaya (Cengel, 2003).

F. Metode Penyimpanan Energi

Ada beberapa bentuk metode untuk penyimpanan energi termal yakni; *mechanical storage, electrical storage, thermal energy storage*. *Mechanical Energy Storage* merupakan sistem penyimpanan energi mekanikal termasuk penyimpanan energi gravitasi atau *pumped hydropower storage* (PHPS), *compressed air energy storage* (CAES), dan roda gaya. Teknologi yang digunakan pada PHPS dan CAES biasa digunakan untuk peralatan penyimpanan energi skala besar walaupun roda gaya sangat cocok digunakan untuk penyimpanan skala menengah.

Electrical Storage merupakan penyimpanan energi dengan baterai adalah salah satu opsi untuk penyimpanan energi listrik. Baterai diisi, yang dihubungkan dengan sumber arus listrik dan ketika sudah penuh lalu pengisian dilepaskan. Energi kimia disimpan dan dikonversikan ke energi listrik. Penyimpanan energi listrik dihasilkan oleh PLTU, PLTA, PLTG, dan pembangkit tenaga sel surya. Kebanyakan jenis baterai yang digunakan zaman sekarang adalah penyimpanan baterai dengan baterai timbal dan Ni- Cd. *Thermal Energy Storage* merupakan penyimpanan energi termal biasanya disimpan pada sebuah sebuah material berubah fasa sebagai panas sensibel, panas laten, dan termokimia maupun gabungan dari 3 jenis kombinasi yang disebutkan diatas (Sharma dkk, 2007).

Ada beberapa persyaratan dalam pemilihan penyimpanan energi panas laten, yaitu :

1. Karakteristik Termal

Ada 3 syarat yang harus dipenuhi dalam karakteristik termal yaitu :

- a. Kecocokan temperatur fasa perubahan.
- b. Panas laten yang tinggi.
- c. Mempunyai perpindahan panas yang baik.

Pemilihan PCM untuk aplikasi khusus, temperatur operasi dari pemanasan ataupun pendinginan seharusnya disesuaikan dengan temperatur transisi dari PCM itu sendiri. Panas laten dari PCM sebisa mungkin harus tinggi, khususnya pada basis volumetrik untuk meminimalisir ukuran penyimpanan panas. Konduktivitas termal juga mendukung pengisian dan pelepasan sewaktu penyimpanan energi bekerja.

2. Karakteristik Fisik

Adapun karakteristik fisik dari penyimpanan energi termal adalah:

- a. Keseimbangan fasa yang baik.
- b. Densitas yang tinggi.
- c. Perubahan volume yang kecil.
- d. Tekanan uap rendah.

Stabilitas fasa selama titik pembekuan akan membantu mengatur penyimpanan panas dan densitas sangat dibutuhkan untuk sebuah ukuran

kecil dalam penyimpanan. Perubahan volume yang kecil dalam perubahan fasa dan tekanan uap yang kecil pada suhu operasi berguna untuk mengurangi masalah penahanan.

3. Karakteristik Kinetik

Adapun karakteristik kinetik dari penyimpanan energi termal adalah:

- a. Tidak ada proses *supercooling*.
- b. Tingkat pengkristalan yang cukup baik.

Supercooling adalah salah satu kesulitan dalam yang dihadapi dalam pengembangan PCM, terutama untuk garam hidrat. *Supercooling* yang lebih dari beberapa derajat saja akan berpengaruh pada proses penyimpanan energi panas.

4. Karakteristik Kimia

Adapun karakteristik kimia dari penyimpanan energi termal adalah:

- a. Stabilitas kimia jangka panjang.
- b. Sesuai dengan bentuk material.
- c. Tidak beracun.
- d. Tidak mudah terbakar.

PCM bisa terjadi degradasi kehilangan air, dekomposisi kimia, atau ketidaksesuaian dengan bentuk materialnya sehingga PCM aman untuk digunakan.

5. Faktor Ekonomis

Adapun faktor ekonomis dari penyimpanan energi termal adalah:

- a. Banyak tersedia.
- b. Harga yang murah.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Suatu kajian eksperimental dari minyak kelapa yang dimanfaatkan untuk media pendingin ini bertujuan untuk membantu pengkondisian udara didalam ruangan, sehingga menciptakan sebuah ruangan yang nyaman untuk digunakan dan juga untuk membantu pengurangan konsumsi energi dari mesin pendingin. Dalam usaha mendapatkan temperatur ruangan yang nyaman terdapat 2 metode, yaitu pendingin aktif dan pendingin pasif. Metode pendinginan aktif yang banyak digunakan seperti AC (*Air Conditioner*) mempunyai potensi pemanasan global, dan pemakaian energi listriknya juga cukup besar.

Salah satu metode pendinginan pasif yang di pakai adalah PCM (*phase change material*). Metode ini menjadi alternatif untuk sistem pengkondisian udara, selain tidak menggunakan energi listrik , PCM juga tidak berpotensi pemanasan global. Pada penelitian kali ini bahan yang digunakan untuk membuat PCM adalah minyak kelapa. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental sehingga dibutuhkan waktu dan tempat dalam pelaksanaannya. Waktu, tempat dan hal-hal yang berkaitan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Termodinamika Fakultas Teknik Universitas Lampung. Waktu pelaksanaannya pada bulan Agustus 2020 sampai dengan Desember 2020. Rincian jadwal penelitian dapat dilihat pada tabel 3.1

B. Tahapan Penelitian

Dalam melakukan penelitian diperlukan tahapan-tahapan, dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Rincian Jadwal Penelitian

Kegiatan	Agustus				September				Oktober				November				Desember			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																				
Persiapan																				
Pengujian																				
Analisis Data																				
Penulisan Laporan																				

1. Studi Literatur

Studi literature yang dilakukan adalah mengenai penyimpanan panas (*heat storage*) PCM yang berbahan minyak kelapa untuk mengetahui sifat-sifat fluida dan mengetahui perubahan fasa yang terjadi dan pengurangan konsumsi energi akibat PCM.

2. Persiapan

a. Persiapan bahan PCM

Mencari minyak kelapa yang dapat berubah fasa pada temperatur yang sudah ditentukan.

b. Persiapan alat uji

Menyiapkan alat uji yang digunakan untuk pengujian PCM seperti alat temperatur recorder, alat pendingin, alat pemanas, watt meter dll.

3. Pelaksanaan Percobaan

Melakukan pengujian eksperimental terhadap PCM minyak kelapa yang dimasukkan ke dalam *Aluminium hollow* berukuran 100 x 25 mm, dimana *Aluminium hollow* tersebut ditempatkan di sela-sela dinding yang sudah di lapiisi *styrofoam* dan triplek.

4. Analisa Data

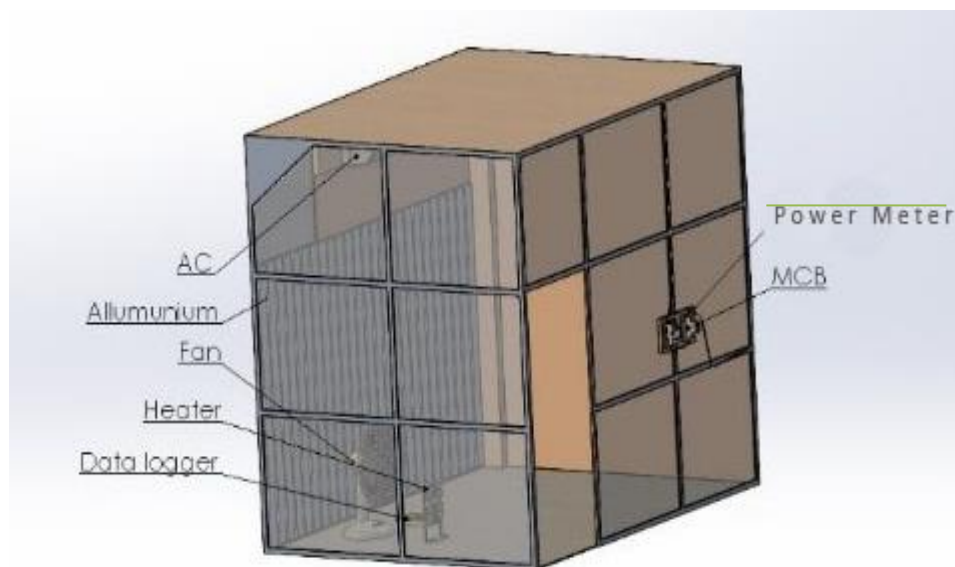
Melakukan analisa terhadap konsumsi energi dari mesin pendingin sebelum dan sesudah PCM di letakkan pada ruang pengujian

5. Penulisan Laporan

Penulisan laporan adalah tahap akhir dari penelitian yang digunakan untuk melaporkan hasil penelitian yang telah dilakukan.

C. Alat dan Bahan

Adapun gambar skema dalam pengujian pada penelitian ini adalah sebagai berikut



Gambar 3.1. Skema pengujian

Dalam penelitian ini terdapat alat dan bahan digunakan untuk memudahkan proses penelitian.

1. Alat

Terdapat beberapa alat bantu yang digunakan agar penelitian dapat berjalan dengan lancar. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. *Air Conditioner*

Air conditioner 1 PK atau 9200 btu/h adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengondisikan udara untuk memperoleh temperatur udara *inlet* agar dapat bertahan sesuai dengan temperatur yang diinginkan.



Gambar 3.2. *Air Conditioner*

b. *Temperatur Recorder*

Termometer yang digunakan pada penelitian ini adalah *Temperature Recorder* Lutron BTM-4208SD yang dilengkapi dengan sensor termokopel jenis K yang digunakan untuk merekan data hasil pengujian dengan rentang waktu 5 detik seperti yang terlihat pada gambar



(a)

(b)

Gambar 3.3. Termometer (a) *Temperature Recorder* Lutron BTM- 4208SD (b) Termokopel jenis K.

c. *Power Meter*

Power Meter adalah suatu alat ukur yang bisa mengukur besaran-besaran listrik secara terintegrasi dari beberapa komponen alat ukur menjadi satu kesatuan yang terangkai dalam suatu alat ukur. Dengan kata lain dalam satu alat sudah dapat digunakan untuk mengukur berbagai macam jenis besaran listrik antara lain arus, tegangan, daya, faktor daya, frekuensi bahkan Total Harmonik Distorsion secara *real time monitoring*.



Gambar 3.4. *Power meter Scheneider Single Phase*

d. Pemanas ruangan

Pemanas ruangan atau biasa di sebut *Heater* adalah suatu alat yang berfungsi untuk memberikan rasa hangat pada udara di dalam ruangan. Dan pada penelitian kali ini heater berfungsi sebagai beban termal yang akan dilepaskan didalam ruangan.



Gambar 3.5. *Heater 100 watt*

e. Kipas angin

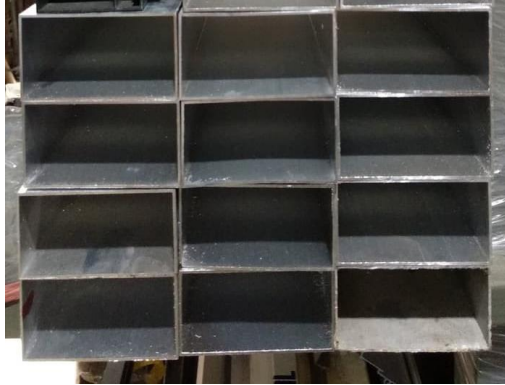
Kipas angin dipergunakan untuk menghasilkan angin. Fungsi yang umum adalah untuk pendingin udara, penyegar udara, ventilasi (*exhaust fan*), pengering (umumnya memakai komponen penghasil panas). Kipas angin juga ditemukan di mesin penyedot debu dan berbagai ornamen untuk dekorasi ruangan.



Gambar 3.6. Kipas angin sanex

h. Wadah PCM

Wadah PCM berfungsi untuk menempatkan PCM, sehingga PCM berada dalam suatu wadah. Pada penelitian ini digunakan wadah PCM berupa *aluminium hollow* berukuran 1x4 inch. Seperti pada Gambar 3.7



Gambar 3.7. *Alumunium Hollow 1x4 inch*

2. Bahan

Adapun bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah berupa minyak kelapa serta *Alumunium Hollow 1x4 inch*. Untuk lebih jelas tentang bahan-bahan yang digunakan dapat dilihat pada deskripsi dibawah ini:

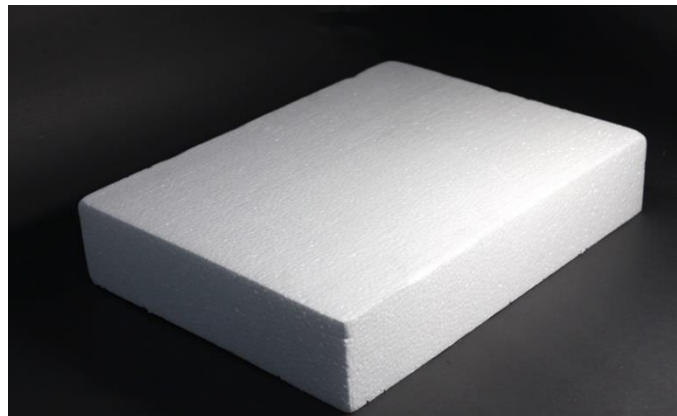
a. Minyak kelapa



Gambar 3.8. Minyak kelapa

b. Styrofoam

Styrofoam adalah bahan apung yang punya banyak kegunaan. Selain itu, kandungan udara yang banyak dalam styrofoam juga menjadikan gabus sebagai *isolator* yang baik.



Gambar 3.9. styrofoam

D. Metode Pengujian

Adapun prosedur pengujian perpindahan panas yang mengandung material berubah fasa berupa minyak kelapa yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat-alat yang akan digunakan (*power meter, heater, termokopel, thermometer, dan air conditioner*).
2. Mengukur volume PCM yang akan diuji pada ruangan pengujian.

3. Memasang *Aluminium Hollow* pada dinding-dinding yang sudah di lapiasi *styrofoam*.
4. Menyiapkan *heater* dengan beban termal 200 watt sebanyak 4 titik di dalam ruangan.
5. Memasukan PCM pada *Aluminium Hollow*
6. Memasang alat yang akan digunakan (*air conditioner*, *termorecorder* dan *heater*).
7. Memasang termokopel pada dinding dan bahan uji yang telah ditentukan dan kemudian menghubungkannya ke termometer.
8. Menghubungkan kabel *air conditioner* ke penyedia listrik.
9. Menghidupkan *air conditioner* dengan menekan sakelar ON/OFF.
10. Mengatur temperatur udara yang telah ditentukan sesuai dengan data tiap pengujian.
11. Rekam data temperatur pada *thermometer*.
12. Mengulangi langkah 9-11 dengan pengujian yang telah ditentukan.

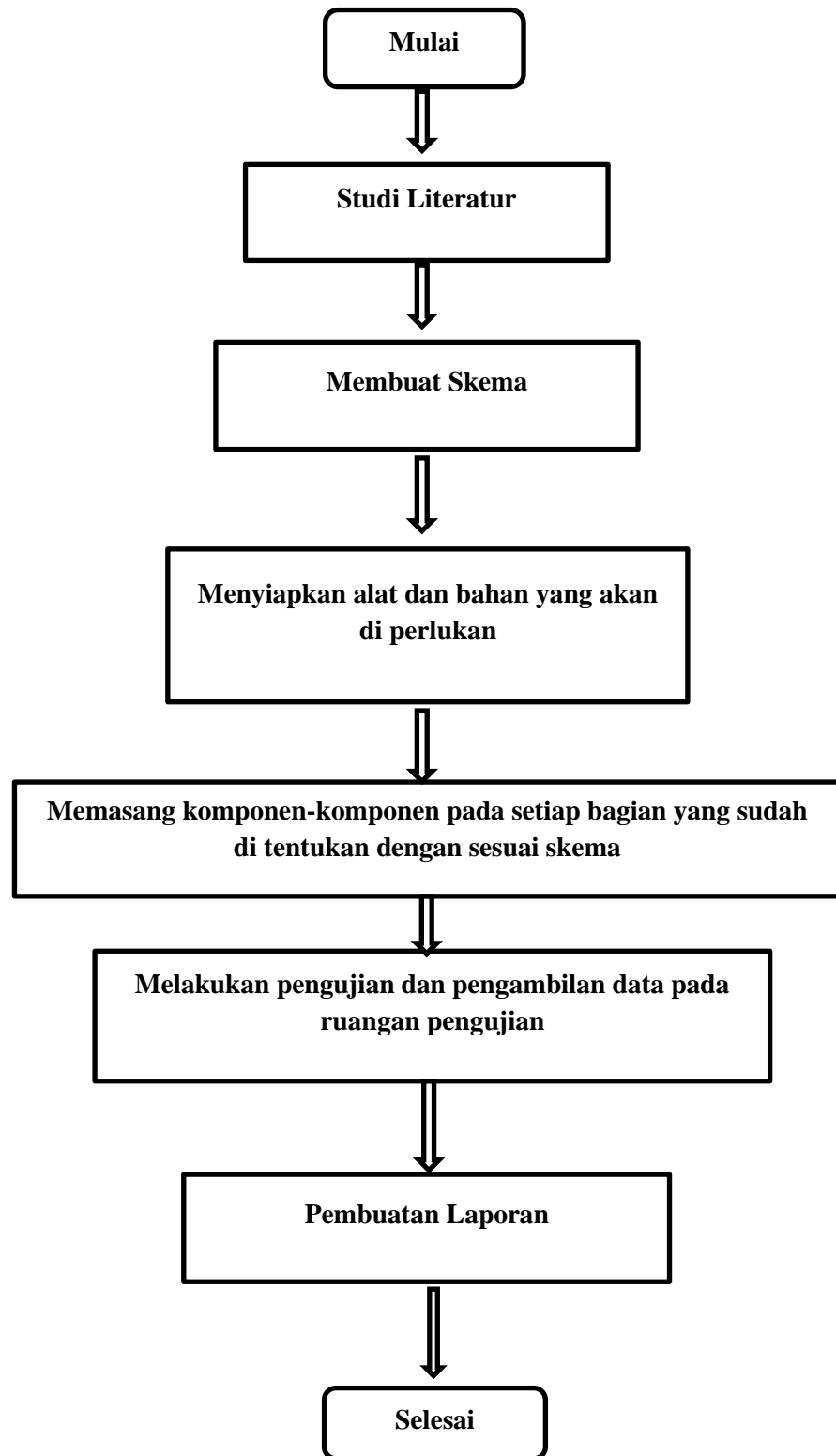
E. Variabel Pengujian

Adapun variasi pengujian pada penelitian ini yaitu dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.2 Variabel Pengujian

Temperatur awal pendinginan	Beban termal	Konsumsi energi (kWh)
20°C	200 watt	
	400 watt	
	600 watt	
	800 watt	
22°C	200 watt	
	400 watt	
	600 watt	
	800 watt	

F. Alur Pengerjaan Proyek Akhir



Gambar. 3.10. Alur Proyek Akhir

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan pada penulisan tugas akhir “Pengaruh Penggunaan Minyak Kelapa pada Dinding sebagai Penyimpanan Energi Termal terhadap Konsumsi Energi Sistem Pengondisian Udara” yaitu sebagai berikut:

1. Penggunaan PCM berupa minyak kelapa sebagai material penyimpan energi termal pada dinding belum mampu menyerap termal yang ada didalam ruangan bahkan PCM itu sendiri mempunyai panas yang ikut dilepaskan didalam ruangan dan juga PCM belum mampu membantu menurunkan pemakaian konsumsi energi mesin pengondisian udara.
2. Energi terbesar yang dikonsumsi oleh mesin pengondisian udara dari masing-masing pembebanan dan variasi beban termal berada pada temperatur udara masuk 20°C dengan beban termal 400 watt , 800 watt senilai 4,6 kWh dan 22°C dengan beban termal 800 watt senilai 4,6 kWh dan energi terkecil yang dikonsumsi oleh mesin pengondisian udara dari masing-masing pembebanan dan variasi beban termal berada pada temperatur udara masuk 22°C dengan beban termal 200 watt senilai 3,5 kWh.

3. Mesin pengondisian udara jenis inverter berpengaruh pada pemakaian daya. Dengan menggunakan jenis inverter konsumsi energi mesin pengondisian udara tidak terjadi perubahan yang signifikan.
4. Temperatur ruangan dan konsumsi energi mesin pengondisian udara pada ruangan menggunakan PCM lebih besar dibandingkan ruangan tanpa menggunakan PCM.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk mengoptimalkan pada penelitian “Pengaruh Penggunaan Minyak Kelapa pada Dinding sebagai Penyimpanan Energi Termal terhadap Konsumsi Energi Sistem Pengondisian Udara” adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini perlunya variasi jenis minyak kelapa yang berbeda untuk mengetahui efektivitas dan pengaruh dari jenis minyak tersebut dalam penyimpanan energi termal.
2. Untuk perekaman data dari alat *temperature recorder* sebaiknya dilakukan sebanyak 2 kali perekaman supaya bisa dibandingkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbat, A. 1981. Development of modular heat exchanger with an integrated latent heat storage. Report number BMFT FBT 81-050. Germany Ministry of Science and Technology. Bonn.
- D. Zhou, C. Y. Zhao and Y. Tian, "Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications," *Appl. Energy*, vol. 92, pp. 593- 605, 2012
- George, A. 1989. Handbook of thermal design, in: Guyer C, editor. Phase change thermal storage materials. Mc. Graw Hill Book Co
- Irsyad, M., Pasek, A.D., Indartono, Y.S., Pratomo, A.W., "Heat transfer characteristics of building walls using phase change material", *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, v. 60, 012028, pp. 1-6, 2017.
- Leokita. 2006. Konsumsi energi listrik pada suatu bangunan.
- Laila, lia. 2016. Pemanfaatan Sistem Pengondisian Udara Pasif dalam Penghematan Energi: Seminar nasional inovasi dan aplikasi

teknologi di industri (SENIATI) , ITB (Institut Teknologi Bandung)

Pudjiastuti, wiwik. 2011. Jenis-jenis bahan berubah fasa dan aplikasinya. Jakarta timur: Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian

Ruwah Joto, Studi Perbandingan Pemakaian Energi (Malang: polinema, 2017)

Shamseldin A. Mohamed, F. A.-S.-A. (2017). A Review on Current Status and Challenges of Inorganic Phase Change Materials for Thermal Energy Storage Systems. ELSEVIER, 1072-1089.

Sharma, A., V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi. 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable and Sustainable Energy Review 13: 318-345.

Wonorahardjo, surjamanto. 2018. Potensi Penyimpanan Energi Panas Menggunakan Minyak Kelapa untuk Kontrol Suhu Udara. Bandung: Gedung Kelompok Riset Teknologi, SAPPK