

**KAJI EKSPERIMEN PENGGUNAAN *PHASE CHANGE MATERIALS* (PCM)
JENIS MINYAK KELAPA UNTUK MENGURANGI BEBAN TERMAL
AIR CONDITIONING (AC) SEBAGAI UPAYA
PENGHEMATAN ENERGI**

(Tesis)

**Oleh :
AGUNG ARIWIBOWO**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

KAJI EKSPERIMEN PENGGUNAAN *PHASE CHANGE MATERIALS (PCM)* JENIS MINYAK KELAPA UNTUK MENGURANGI BEBAN TERMAL *AIR CONDITIONING (AC)* SEBAGAI UPAYA PENGHEMATAN ENERGI

Oleh

AGUNG ARIWIBOWO

Air Conditioner (AC) merupakan alat yang saat ini banyak digunakan untuk mengondisikan udara di dalam ruangan sehingga memperoleh kenyamanan termal ruangan. Penggunaan *AC* pada bangunan memberikan dampak terhadap konsumsi energi listrik bangunan, seperti pada hotel di Jakarta konsumsi listrik *AC* sekitar 60%. Beban termal menjadi faktor utama yang mempengaruhi besarnya konsumsi energi listrik *AC*, sehingga mengurangi beban termal dari sebuah ruangan menjadi strategi utama dalam menghemat energi. Strategi yang digunakan untuk mengurangi beban termal ruangan yaitu penggunaan material berubah fasa. Minyak kelapa merupakan material berubah fasa yang memiliki suhu beku dengan rentang 21,30 – 21,73 °C. Dengan suhu tersebut, minyak kelapa sangat cocok digunakan sebagai penyimpan energi dengan memanfaatkan potensi suhu dingin di Indonesia ketika malam hari. Pemanfaatan suhu malam hari tujuannya yaitu untuk membantu proses perubahan fasa minyak kelapa dari cair menjadi beku pada malam hari sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengurangi beban termal ruangan pada siang hari. Pada proses ini diamati dan dianalisis pengaruh penggunaan *PCM* minyak kelapa pada dinding dalam ruangan terhadap penurunan beban termal ruangan dan pemakaian energi listrik *AC*. Pengujian dilakukan dengan tiga model ruangan yaitu non *PCM*, berpartisi *PCM*, dan berpartisi *PCM* dengan udara malam sebagai pendingin *PCM*. Masing-masing model ruangan dilakukan 3 variasi temperatur udara masuk yaitu 18°C, 20°C, dan 22°C, serta 4 variasi *heater* 200 Watt, 400 Watt, 600 Watt, dan 800 Watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *PCM* minyak kelapa sebagai partisi ruangan dapat membantu menurunkan temperatur ruangan sampai 2°C dibawah temperatur *AC*. Sedangkan untuk penurunan penggunaan energi listrik mencapai 0,4 kWh. Selain itu untuk pengujian pemanfaatan udara malam belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan temperatur ruangan dan konsumsi energi listrik, dikarenakan suhu udara malam hari di tempat penelitian tidak mencapai suhu beku *PCM*.

Kata kunci : *PCM*, Minyak Kelapa, dan Energi *AC*

ABSTRACT

EXSPERIMENTAL REVIEW USING PHASE CHANGE MATRIALS (PCM) OF COCONAT OIL REDUCE THE BURDEN OF THERMAL AIR CONDITIONING (AC) AS AN EFFORT TO ENERGY SAVING

By

AGUNG ARIWIBOWO

Air conditioning (AC) is a currently widely used to mengondisikan the air inside of a room so that obtain thermal comfort room. The use of ac on the building of the give the effect on electric energy consumption building, as in hotel in jakarta ac electricity consumption around 60 %. The thermal is the main factor affecting the electric energy consumption, AC so as to reduce the burden of thermal of a room becomes strategy main. save energy a strategy used to reduce the use of thermal room in phase change matrial. Coconut oil is having the same material change in phase frozen by the span of 21,30 - 21,73 °C. The with the temperature, coconut oil is very suitable as a reservoir energy by making use of the potential of a cool temperature in indonesia when the night day. The use of temperature night its purpose which is to help the berubah in phase coconut oil from a liquid into a freezing at night so that it can be used to reduce the burden of thermal room during the day. In this process observed and analyzed the impact of the use of pcm coconut oil on indoor walls on reductions in the weight room and use thermal electricity AC. Testing completed in three model room, the non pcm pcm berpartisi, and berpartisi pcm with air night as a coolant pcm. Each model done 3 room variations of temperature air in the 18 °C, 20 °C, 22 °C, and 4 variation and pemanas 200 Watt, 400 Watt, 600 Watt, and 800 Watt. The research results show pcm of coconut oil as a partition room can help sent down to room temperature 2 °C under ac temperature. Energy consumption and the drop out electricity reached 0,4 kWh. In addition for testing night air utilization not given tempeatur significant influence to a decrease in the room and electric energy consumption, because the temperature night research not reaching pcm freezing temperatures.

Keywords: PCM, Coconut oil, Energy AC.

**KAJI EKSPERIMEN PENGGUNAAN *PHASE CHANGE MATERIALS (PCM)*
JENIS MINYAK KELAPA UNTUK MENGURANGI BEBAN TERMAL
AIR CONDITIONING (AC) SEBAGAI UPAYA
PENGHEMATAN ENERGI**

Oleh

AGUNG ARIWIBOWO

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
MAGISTER TEKNIK**

Pada

**Program Pascasarjana Magister Teknik
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Tesis

: KAJI EKSPERIMEN PENGGUNAAN *PHASE CHANGE MATERIALS (PCM)* JENIS MINYAK KELAPA UNTUK MENGURANGI BEBAN TERMAL *AIR CONDITIONING (AC)* SEBAGAI UPAYA PENGHEMATAN ENERGI

Nama Mahasiswa

: Agung Ariwibowo

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1825021001

Program Studi

: Magister Teknik Mesin

Jurusan

: Teknik Mesin

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



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



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

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin



Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19710817 199802 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

.....

Anggota Penguji : **Dr. Amrul, S.T., M.T.**

.....

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

.....

Penguji Utama II : **Dr. Harmen, S.T., M.T.**

.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP 19750928 200112 1 002



Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung

Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
NIP 19710415 199803 1 005

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **12 Februari 2022**

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tesis dengan judul **“KAJI EKSPERIMEN PENGGUNAAN *PHASE CHANGE MATERIALS* (PCM) JENIS MINYAK KELAPA UNTUK MENGURANGI BEBAN TERMAL *AIR CONDITIONING* (AC) SEBAGAI UPAYA PENGHEMATAN ENERGI”** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiatisme. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya; saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 12 Februari 2022

Yang Membuat



Agung Ariwibowo, S.Pd
NPM. 1825021001

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Agung Ariwibowo, lahir pada tanggal 15 Juni 1991 di Margoyoso (Kab. Tanggamus, Lampung). Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Kodjrat Prayitno dan Ibu Andreas Endang Sutrisnowati.

Penulis memulai pendidikan formal pada tahun 1997 di SDN 1 Margoyoso dan lulus pada tahun 2003, kemudian melanjutkan ke SMPN 1 Sumberejo dan lulus pada tahun 2006. Penulis melanjutkan ke Sekolah Menengah Kejuruan di SMKN 1 Gadingrejo dan lulus pada tahun 2009. Tahun 2009 penulis diterima sebagai mahasiswa di Universitas Negeri Padang dengan jalur PMDK di Program Studi Strata 1 Pendidikan Teknik Otomotif dan lulus pada tahun 2014 dengan gelar S.Pd. Penulis melanjutkan studi pada program profesi guru pada tahun 2017 Di Universitas Negeri Medan dan telah memperoleh gelar Gr.

Penulis memulai karir pada tahun 2014 dengan menjadi guru honorer di SMKN 1 Talangpadang - Tanggamus hingga tahun 2019. Pada tahun 2019 penulis diterima sebagai Aparatur Sipil Negara (ASN) penempatan di SMKN 1 Kotaagung Barat – Tanggamus, dan mengabdikan hingga sekarang. Penulis menikah dengan Ira Selfiana pada tahun 2016 dan telah mempunyai

dua orang anak. Anak pertama bernama Dzikra Baihaqi Alfatir (5 Tahun), dan Fawwaz Abdul Hamid (1 Tahun).

Penulis melanjutkan studi Pasca Sarjana melalui Program Studi S2 Teknik Mesin Universitas Lampung dan mengambil bidang konsentrasi konversi energi. Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik Penulis melakukan penelitian dengan judul tugas akhir **“Kaji Eksperimen Penggunaan *Phase Change Materials (PCM)* Pada Dinding Bangunan Untuk Menurunkan Beban Termal *Air Conditioning (AC)* Sebagai Upaya Penghematan Energi”** di bawah bimbingan Bapak. Dr. Muhammad Irsyad,. S.T., M.T. dan Dr. Amrul, S.T., M.T.

Pada tanggal **12 Februari 2022** Penulis telah menyelesaikan tesis dan telah dinyatakan **LULUS** dengan gelar Magister Teknik (**M.T**).

Motto

*"Dan bertaqwalah kepada Allah, maka Dia akan mengajarkanmu
Sesungguhnya Allah maha mengetahui segala sesuatu."
(Qs. Al Baqarah [2] : 282)*

*"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila
kamu telah selesai (dari satu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-
sungguh urusan yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmu lah
hendaknya kamu berharap."
(QS. Al-Insyirah [94] : 6-8)*

*"Banyak kegagalan dalam kehidupan ini dikarenakan orang-orang
tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat
mereka menyerah."
(Thomas Alva Edison)*

*"Beusaha mencoba dan gagal itu lebih baik dari pada tidak
mencobanya, dan meminta ridho Illahi (berdoa) adalah awal untuk
kita mencoba.
(Agung Ariwibowo)*

PERSEMBAHAN



“Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang”

*Dengan kerendahan hati yang tulus, bersama keridhaan-Mu ya Allah,
Kupersembahkan karya kecilku ini untuk untuk orang-orang yang aku sayang*

Ayah dan Ibu

*Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Kodjrat Prayitno dan Ibu A.E Sutrisno
Wati, tiada pernah hentinya selama ini memberiku semangat, doa, dorongan,
nasehat dan kasih sayang serta pengorbanan yang tak tergantikan.*

Istri dan Anakku

*Istriku tercinta Ira Selfiana yang selalu mendukung, mendoakan dan
menjadi first partner dalam setiap langkahku. Serta ke Dua anakku Dzikra
Baihaqi Alfatih dan Fawwaz Abdul Hamid yang selalu menjadi penyemangatku.*

Dosen Magister Teknik Mesin Universitas Lampung

*Yang selalu membimbing, mengajarkan, memberikan saran serta saran baik
Secara akademis maupun non akademis*

Teman-Teman Magister Teknik Mesin

Yang selalu member semangat dan selalu berdiri bersama

SANWACANA

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah rabbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang senantiasa mencurahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan menyusunnya menjadi sebuah karya ilmiah dengan judul ***“Kaji Eksperimen Penggunaan Phase Change Materials (PCM) Jenis Minyak Kelapa Untuk Mengurangi Beban Termal Air Conditioning (AC) Sebagai Upaya Penghematan Energi”***. Karya ilmiah ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Sholawat dan salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi panutan serta membawa umat manusia dari lembah kegelapan menuju dunia yang bercahaya. Limpahan rasa hormat, cinta, kasih sayang dan terima kasih tiada tara kepada Ayahanda Kodjrat Prayitno dan ibunda A.E Sutrisnowati yang mendidik dan membesarkan dengan penuh cinta dan kasih yang begitu tulus kepada Penulis dan yang telah memberikan do'a disetiap detik kehidupannya untuk keberhasilan Penulis. Serta Istri dan kedua Anakku yang selama ini telah banyak memberikan do'a, kasih sayang, semangat dan dukungannya kepada Penulis, semoga Allah SWT senantiasa mengumpulkan kita semua dalam kebaikan dan ketaatan kepada-Nya.

Terimakasih setinggi-tingginya penulis sampaikan dengan segala keikhlasan dan kerendahan hati kepada :

1. Bapak Prof. Dr.Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T.,M.T. selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Magister Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah bersedia menyempatkan waktunya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam penyempurnaan penulisan tesis ini;
5. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku selaku dosen pembimbing kedua, yang telah menyediakan waktu dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesisi ni;
6. Seluruh Dosen dan Staf Program Studi Magister Teknik Mesin yang banyak memberikan ilmu selama penulis melaksanakan studi, baik berupa materi perkuliahan maupun teladan dan motivasi.
7. Rekan-rekan Mahasiswa Pasca Sarjana Teknik Mesin, semoga kebersamaan dan persaudaraan kita tidak berakhirhanya dikampus ini.
8. Rekan-Rekan guru dan Staf di SMKN 1 Kota Agung Barat, terimakasih atas semua dukungannya.
9. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih banyak terdapat kesalahan serta kekurangan. Menyadari hal tersebut dengan segala kerendahan hati penulis akan menerima segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca untuk kesempurnaan tesis ini, yang tentunya akan lebih mendorong kemajuan penulis dikemudian hari. Semoga tesis ini dapat berguna bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya. Akhir kata penulis ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikumWr. Wb.

Bandar Lampung, 12 Februari 2022
Penulis,

Agung Ariwibowo

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhana Wata'ala karena atas berkat dan rahmat-Nya telah memampukan penulis untuk menyelesaikan Tesis ini sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik di Universitas lampung.

Tesis dengan judul ***“Kaji Eksperimen Penggunaan Phase Change Materials (PCM) Jenis Minyak Kelapa Untuk Mengurangi Beban Termal Air Conditioning (AC) Sebagai Upaya Penghematan Energi”***. Dapat diselesaikan dengan baik berkat partisipasi, bantuan, dukungan dan doa dari berbagai pihak.

Tiada gading yang tak retak, penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyajian Tesis ini, dengan senang hati penulis menerima kritikan dan saran dari semua pihak untuk sempurnanya Tesis ini.

Bandar Lampung, Februari 2022

Penulis,

Agung Ariwibowo

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR SIMBOL	xxi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
E. Batasan Masalah	5
F. Sistematika Penulisan	6
II. LANDASAN TEORI	
A. Material Berubahan Fasa/ <i>Phase Change Material (PCM)</i>	8
1. Pengertian Material Berubah Fasa	8
2. Klasifikasi Material Berubah Fasa	10
3. Potensi Minyak Kelapa Sebagai Material Berubah Fasa	17
B. Perpindahan Panas	19
1. Konduksi	19
2. Konveksi.....	21
3. Radiasi	21
C. Pengkondisian Udara	22
1. Mesin pengkondisian udara/ <i>Air Conditioning (AC)</i>	24
2. Prinsip kerja pengkondisian Ruangan (AC)	26
3. Beban pendinginan AC.....	28
D. Aplikasi <i>PCM</i> pada dinding bangunan	32

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu	35
B. Alat dan Bahan	36
C. Prosedur Pengujian	40
D. Diagram Alur Penelitian	42
E. Pengambilan Data	43
F. Pengolahan Data	44

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Laju Perpindahan Panas	48
B. Keseimbangan Energi	56
C. Perbandingan Temperatur Ruangan	58
D. Karakteristik Temperatur Udara Malam Hari	62
E. Analisis pemakaian Energi listrik	66

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	70
B. Saran	71

DAFTAR PUSTAKA	72
-----------------------------	----

LAMPIRAN	74
-----------------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Titik Titik leleh dan panas peleburan laten paraffin	12
2. Titik leleh dan panas laten <i>PCM</i> non paraffin dan <i>PCM</i> Asam Lemak	15
3. Titik leleh dan panas laten beberapa hidrat garam	16
4. Titik leleh dan peleburan panas laten <i>PCM</i> metallic	16
5. Titik leleh dan peleburan panas laten <i>PCM</i> kombinasi	17
6. <i>Sensible Heat Gain (SHG)</i> dan <i>Laten Heat Gain (LHG)</i>	30
7. Pelaksanaan penelitian	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Prinsip kerja <i>PCM</i>	9
2. Klasifikasi <i>PCM</i>	11
3. Mekanisme perpindahan panas	22
4. Peralatan mesin <i>air conditioning</i> (AC)	25
5. Prinsip kerja <i>air conditioning</i> AC	27
6. Perhitungan konduktivitas bahan melalui dinding	31
7. Skema pemasangan alat dan bahan pada ruang uji	36
8. Alat ukur temperatur	37
9. <i>Heater</i>	38
10. Alat ukur debit angin (<i>Anemometer</i>).....	39
11. Minyak kelapa barco	40
12. Pengepakan <i>PCM</i> pada alumunium <i>hollow</i>	41
13. Diagram alur penelitian	43
14. Temperatur keluar <i>heater</i>	49
15. Laju perpindahan panas <i>heater</i> untuk setiap variasi daya <i>heater</i> dan pengaturan temperatur ruangan AC	51
16. Temperatur <i>PCM</i> pada setiap variasi <i>heater</i> dan AC.....	52
17. Kalor <i>PCM</i> perwaktu pada setiap variasi <i>heater</i>	53
18. Temperatur AC keluar untuk setiap variasi <i>heater</i> dan AC.....	54
19. Kalor yang diserap oleh <i>refrigerant</i> AC perwaktu pada setiap variasi <i>heater</i>	55
20. Keseimbangan energi pada setiap variasi temperatur AC.....	56
21. Perbandingan temperatur ruangan terhadap variasi temperatur AC.....	58

22. Perbandingan temperatur ruangan terhadap variasi <i>heater</i> pada temperatur 20 °C	61
23. Temperatur luar ruangan	63
24. Temperatur luar masuk setelah melewati <i>blower</i>	64
25. Perkiraan temperatur udara malam per hari bulan Agustus 2021	65
26. Perkiraan temperatur udara malam kurun waktu 24 jam pada bulan Agustus 2021	65
27. Konsumsi pemakaian energi listrik AC pada tiap pengaturan	67

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
A	: Luas penampang (m^2)
C	: Konstanta
CLF	: Cooling Load Factor
COP	: Coefficient Of Penformance
h	: Koefisien konveksi fluida (W/m^2K)
k	: Konduktivitas panas material (W/mK)
L	: Tebal material dinding (m)
LHG	: <i>Laten Heat Gain</i>
P	: Daya input (W)
$\dot{Q}$	: Laju perpindahan panas konduksi konveksi (W)
Q_{kond}	: Panas Konduksi
Q_{konv}	: Panas Konveksi
R	: Resistansi termal
RH	: Rasio humiditas relatif
SHG	: <i>Sensible Heat Gain</i>
T	: Temperatur mutlak (K)
T_2	: Temperatur permukaan dinding luar B (K)
T_3	: Temperatur permukaan dinding luar C (K)
$T_{\infty,1}$	: Temperatur fluida bagian luar (K)
$T_{\infty,4}$	: Temperatur fluida bagian dalam (K)
T_i	: Temperatur di dalam ruangan ($^{\circ}C$)
T_o	: Temperatur di luar ruangan ($^{\circ}C$)
T_f	: Temperatur Fluida (K)
T_{∞}	: Temperatur Fluida (K)
T_s	: Temperatur permukaan (K)
$T_{s,1}$	: Temperatur permukaan dinding luar A (K)
$T_{s,4}$	: Temperatur permukaan dinding dalam C (K)
ΔT	: Beda suhu
ε	: Emisivitas
σ	: Kontanta Stefen Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^{-4}$)

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi Indonesia berdampak terhadap peningkatan kebutuhan energi. Salah satu energi yang menjadi kebutuhan bagi manusia yaitu energi listrik. Energi listrik berperan penting dalam kehidupan sehari-hari untuk memudahkan manusia dalam melakukan aktivitas, akan tetapi pemanfaatan dan penggunaannya harus efisien dan dikontrol. Energi listrik menjadi sumber daya dari berbagai macam peralatan, salah satunya adalah alat pengondisian udara (*Air conditioning* disingkat AC).

AC merupakan alat yang saat ini banyak digunakan untuk mengondisikan udara di dalam ruangan sehingga memperoleh kenyamanan termal ruangan. Kenyamanan termal adalah dimana kondisi manusia merasa nyaman ketika berada di dalam ruangan. Berdasarkan (SNI 6390: 2011) Tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung, pemenuhan kenyamanan termal suatu ruang kerja berkisar antara 24°C sampai 27°C atau $25,5^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ (BSN, 2011).

Penggunaan AC pada bangunan memberikan dampak terhadap konsumsi energi listrik bangunan. Menurut Hermanto (2005) menyebutkan: “Sekitar 60% konsumsi listrik hotel di Jakarta digunakan untuk memasok energi untuk

AC”. Oleh karena itu, mengurangi beban termal dari sebuah ruangan menjadi strategi untuk menghemat energi.

Beban termal disebuah ruangan menjadi penyebab beban pendinginan AC meningkat. Berdasarkan (SNI 6390:2011) Tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung, beban pendinginan ruangan meliputi: Beban selubung bangunan, beban listrik pencahayaan, beban penghuni (manusia), beban udara/cahaya luar, dan beban sistem. Beban pendinginan tersebut yang menyebabkan AC memiliki beban yang besar. Besarnya beban pendinginan akan mempengaruhi konsumsi listrik yang dibutuhkan AC ketika bekerja.

Konsumsi listrik pada penggunaan AC harus dapat diefisienkan. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah (PP No 13 tahun 2012) tentang penghematan pemakaian tenaga listrik bahwa: “Untuk meningkatkan penghematan pemakaian tenaga listrik, perlu dilakukan pemakaian tenaga listrik secara efisien dan rasional”. Upaya penghematan energi listrik menjadi salah satu cara untuk melestarikan energi yang tersedia. Penyimpanan energi di beberapa aplikasinya sangat dibutuhkan meski dalam waktu yang relatif pendek. Penyimpanan termal dalam proses pendinginan ruangan menjadi salah satu cara untuk mengurangi konsumsi energi. Salah satu cara penurunan beban termal yaitu dengan memanfaatkan suatu proses perubahan fasa dari sebuah material.

Pasupathy (2008) mengemukakan bahwa, *Phase Change Material (PCM)* dapat digunakan untuk pemanasan dan pendinginan ruang aktif dan pasif. Secara umum *PCM* dapat diterapkan dalam bahan bangunan seperti beton,

papan dinding, gipsum di langit-langit, atau lantai untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan termal bangunan. Mereka dapat menangkap energi panas secara langsung melalui konveksi alami. Dengan adanya *PCM* beban termal ruangan dapat dikurangi sehingga konsumsi energi listrik dari penggunaan AC dapat dikurangi.

Material berubah fasa yang dikenal *PCM (Phase change materials)* akan mengalami proses perubahan fasa ketika berada pada temperatur berubah fasanya. Dalam prosesnya, *PCM* memanfaatkan udara dingin pada malam hari untuk mengambil energi termalnya sehingga mengalami perubahan fasa dari cair menjadi padat. Kemudian menyerap energi termal dari udara ruangan pada siang hari sehingga mengalami perubahan fasa dari padat menjadi cair. Pada proses ini, suhu dingin pada malam hari sangat berperan penting dalam perubahan fasa material.

Potensi suhu dingin malam hari di wilayah Indonesia sangat baik untuk pemanfaatan perubahan fasa. Indonesia memiliki waktu malam yang relatif panjang dibanding Negara lain. Berdasarkan data BMKG, suhu udara malam hari di wilayah Indonesia bisa mencapai 17°C (BPS, 2015). Kondisi ini dapat dimanfaatkan untuk proses perubahan fasa sebuah *PCM*. Dengan demikian penggunaan *PCM* dapat menjaga kenyamanan termal ruangan pada siang hari. Selain itu, dengan terjaganya suhu termal ruangan maka beban termal mesin pendingin semakin berkurang, sehingga dapat menghemat penggunaan energi listrik.

Semakin rendah beban termal ruangan maka energi listrik yang dibutuhkan untuk membangkitkan AC semakin kecil, sehingga perlu perancangan dan pemilihan material berubah fasa yang baik. Hal ini sejalan dengan yang diungkapkan Behzadrismanchi (2017) dalam penelitiannya bahwa: “Jika penyimpanan termal dirancang dengan baik, maka dapat mengurangi penggunaan energi listrik dengan biaya yang murah”.

Pemilihan sebuah material berubah fasa yang akan digunakan untuk mengurangi termal ruangan, tentunya harus memiliki titik beku dan titik leleh yang sesuai dengan kenyamanan termal suatu ruangan. Mursalim dkk (2013) melakukan pengujian terhadap pengujian material minyak kelapa didapat suhu beku dengan rentang 21,30 – 21,73 °C. Dengan suhu tersebut minyak kelapa sangat cocok digunakan sebagai material berubah fasa dengan memanfaatkan potensi suhu dingin di Indonesia ketika malam hari. Berdasarkan uraian tersebut maka perlu adanya penelitian penggunaan *PCM* minyak kelapa pada dinding bangunan untuk mengurangi beban termal ruangan dan meminimalisir penggunaan energi listrik pada AC.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, maka rumusan masalah ini yaitu:

1. Bagaimanakah pengaruh penggunaan *PCM* minyak kelapa pada dinding dalam ruangan terhadap penurunan beban termal ruangan?
2. Bagaimanakah pengaruh penggunaan *PCM* minyak kelapa pada dinding dalam ruangan terhadap pemakaian energi listrik AC?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis pengaruh penggunaan *PCM* minyak kelapa pada dinding dalam ruangan terhadap penurunan beban termal ruangan.
2. Menganalisis pengaruh penggunaan *PCM* minyak kelapa pada dinding dalam ruangan terhadap pemakaian energi listrik *AC*.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat memahami karakteristik ruangan dengan penggunaan *PCM* minyak kelapa
2. Dapat mengetahui besarnya beban pendinginan ruangan yang menggunakan *PCM* minyak kelapa
3. Dapat melihat besarnya penurunan pemakaian energi listrik pada ruangan yang memakai partisi *PCM* minyak kelapa
4. Dapat menyimpulkan efektifitas penggunaan *PCM* minyak kelapa untuk menurunkan termal ruangan.

E. Batasan Masalah

Agar lebih terarah dan fokus dilakukan batasan masalah sebagai berikut:

1. *Phase Change Material (PCM)* yang digunakan yaitu minyak kelapa yang didesain dan diletakkan pada dinding bangunan.
2. Pengujian dilakukan pada ruang kerja yang berukuran 25.2 m^3 ($P = 3,7 \text{ m}$; $L = 2,25 \text{ m}$; $T = 3 \text{ m}$) dan sumber beban termal dikondisikan dengan menggunakan pemanas/*heater*.

3. Jumlah massa *PCM* yang digunakan yaitu 93,7 kg yang dimasukan ke dalam 23 bagian alumunium *hollow*, dan diletakan pada satu bagian dinding ruangan yang terpanjang.

F. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan dari penelitian ini adalah:

BAB I : PENDAHULUAN berisikan latar belakang yang disesuaikan dengan topik penelitian, perumusan masalah memuat proses penyederhanaan masalah kompleks menjadi masalah yang dapat diteliti, tujuan dari pelaksanaan penelitian, manfaat penelitian, beberapa batasan yang diberikan agar permasalahan menjadi lebih sederhana, dan sistematika dari penulisan laporan ini.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA berisikan tentang teori yang berhubungan dengan penelitian yaitu: material berubah fasa yang disebut *PCM*, perpindahan panas, pengondisian udara ruangan, dan penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait dan relevan dengan material berubah fasa sebagai pengondisi suhu ruangan.

BAB III : METODELOGI PENELITIAN terdiri dari hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian mulai dari tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan, diagram alur pelaksanaan, prosedur pelaksanaan dan instrumen yang digunakan untuk mencatat data hasil pengamatan saat melaksanakan proses penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN berisikan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan dan akan dilakukan pembahasan berdasarkan data-data yang diperoleh.

BAB V : SIMPULAN DAN SARAN berisikan simpulan dari hasil yang diperoleh dari data-data yang diolah, dan berisikan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini agar dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA memuat referensi yang dipergunakan penulis dalam menyelesaikan penelitian. Referensi yang digunakan berasal dari jurnal nasional maupun internasional, buku teks, dan laman dari lembaga yang kredibel.

LAMPIRAN berisikan data atau keterangan lain yang berfungsi untuk melengkapi uraian yang telah disajikan dalam bagian utama laporan. Lampiran juga berisi dokumentasi proses penelitian sebagai penunjang laporan penelitian.

II. LANDASAN TEORI

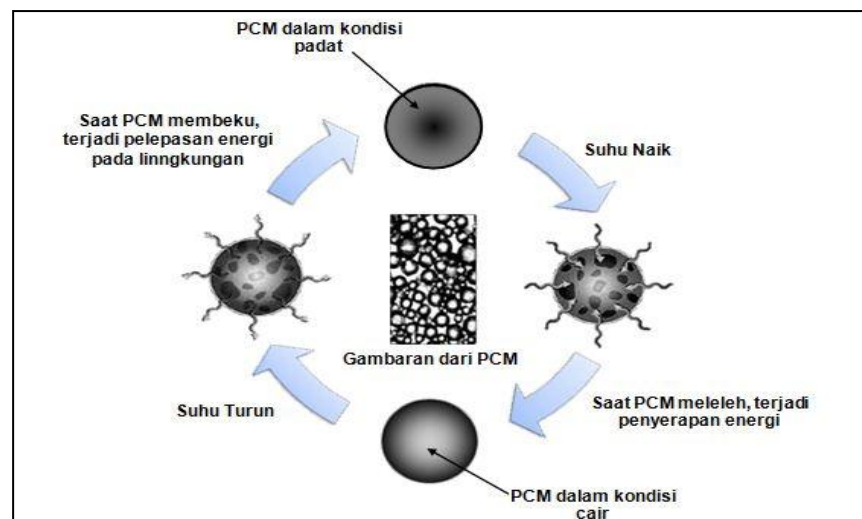
Pada Bab II ini berisikan tentang tinjauan pustaka dari berbagai literatur diantaranya terkait dengan material berubah fasa (*Phase Change Material* yang disingkat dengan *PCM*). Perpindahan panas, pengondisian udara ruangan, dan penelitian-penelitian yang terkait dengan material berubah fasa sebagai pengondisi suhu ruangan. *PCM* merupakan material yang dapat berfungsi sebagai penyimpan energi termal, dan salah satu jenisnya adalah minyak kelapa. Selain itu udara malam hari di Indonesia yang memiliki temperatur relatif rendah dengan rentang waktu cukup lama sangat potensial untuk membantu proses perubahan fasa sebuah *PCM*.

A. Material Berubah Fasa / *Phase Change Materials (PCM)*

1. Pengertian Material Berubah Fasa

Material berubah fasa atau *Phase Change Material (PCM)* adalah bahan penyimpan panas (laten). *PCM* merupakan sebuah material yang mengalami perubahan fasa ketika pada temperatur tertentu. *PCM* mengalami perubahan fasa ketika menyerap dan melepaskan panas (kalor laten) namun struktur atau susunan kimianya tidak mengalami perubahan (Sumiati dkk: 2013).

Berubahan fasa merupakan efek dari adanya perubahan salah satu bentuk, yaitu wujud. Sifat fisika dari zat merupakan sifat yang dapat diamati secara langsung tanpa mengubah susunan zat. Dengan demikian disimpulkan bahwa perubahan fasa terjadi saat sebuah zat berubah dari wujud satu ke wujud yang lain. Misalnya dari gas ke cair, cair ke padat, padat ke gas, dan sebaliknya. Setiap proses perubahan fasa tersebut melibatkan energi panas, baik panas itu dilepas atau diterima oleh zat itu sendiri. Prinsip kerja *PCM* tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip kerja *PCM*
(Sumber: Sumiati dkk, 2013).

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat prinsip perubahan fasa suatu material *PCM*, akan berubah dari padat menjadi cair ketika material tersebut menerima temperatur panas, dan akan kembali ke cair ketika temperatur kembali berada di titik bekunya (Sumiati dkk: 2013).

Sharma dkk (2009), mengungkapkan bahwa perpindahan energi panas terjadi saat bahan berubah bentuk dari padat ke cair atau cair ke padat. Hal ini dinamakan berubah bentuk atau berubah fasa. Pada awalnya berubah *PCM* dari padat ke cair terjadi penyimpan konvensional, dimana energi yang dilepaskan sesuai panas yang diserap. Dengan sifat yang dimiliki maka banyak pemanfaatan *PCM* diberbagai bidang, salah satunya bidang bangunan.

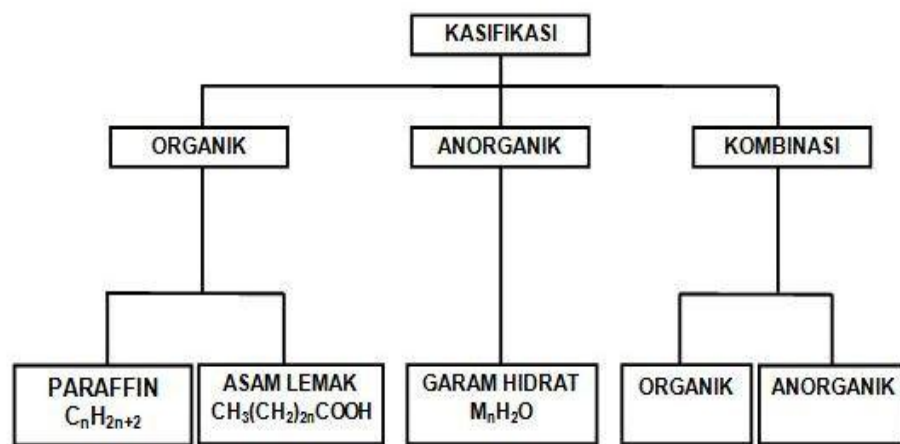
Kasaein dkk (2017) mengungkapkan, bahan berubah fasa (*PCM*) sebagai teknologi penyimpan energi yang dikenal memiliki potensi yang tinggi untuk meningkatkan efisiensi yang tinggi pada bangunan. Pemanfaatan *PCM* pada sektor bangunan juga dapat digunakan sebagai sumber efisiensi sebuah energi yang mana saat ini penggunaannya harus dihemat. Dengan demikian pemanfaatan material berubah fasa dalam bidang teknologi bangunan mampu menjadi daya tarik untuk dilakukan pengujian.

2. Klasifikasi Material Berubah Fasa

Sharma dkk (2009) pada artikelnya dijelaskan bahwa, material berubah fasa dikategorikan kedalam tiga bagian yaitu organik, anorganik, dan autektik. Material organik yaitu material *PCM* yang berkaitan dengan asam lemak, parafin, dan non parafin. Material *PCM* anorganik yaitu material yang berkaitan dengan garam hidrat dan logam. Sedangkan material autektik yaitu campuran material *PCM* yang memiliki berubah fasa pada satu range berubah temperatur yang sangat kecil

baik berasal dari dua atau lebih material organik dengan organik, organik dengan anorganik, atau anorganik dengan anorganik.

Pasupathy dkk, (2008) mengatakan hal yang sama mengenai klasifikasi *PCM* yaitu mengategorikannya kedalam tiga kelompok dan meng gambarkannya kedalam diagram. Kelompok tersebut yaitu organik, anorganik, dan kombinasi. Klasifikasi *PCM* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Klasifikasi *PCM*
(Sumber: Pasupathy dkk, 2008)

a. *PCM* Organik

PCM organik merupakan material berubah fasa yang mempunyai rentang suhu rendah. *PCM* organik mempunyai rata-rata panas laten per satuan volume serta densitas yang sedang. *PCM* organik sebagian besar mudah terbakar di alam. Hingga saat ini *PCM* organik dapat dibedakan kedalam dua golongan yaitu sebagai parafin dan non parafin (Pasupathy dkk, 2008).

1. Parafin

Golongan parafin terdiri dari campuran sebagian besar rantai lurus n-alkana $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$. Pada saat proses kristalisasi, rantai $(\text{CH}_3)\text{-}$ dapat melepaskan sejumlah panas laten. Titik leleh dan panas peleburan laten menjadi meningkat dengan semakin panjangnya rantai kimianya. Kualitas parafin sebagai bahan penyimpan panas disebabkan oleh rentang suhunya yang cukup luas (Sharma dkk, 2009). Beberapa titik leleh dan panas peleburan laten parafin dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Titik leleh dan panas peleburan laten parafin
(Sumber: Sharma dkk, 2009)

Nomor atom Karbon	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)	Kelompok *
14	5.5	228	I
15	10	205	II
16	16.7	237.1	I
17	21.7	213	II
18	28.0	244	I
19	32.0	222	II
20	36.7	246	I
21	40.2	200	II
22	44.0	249	II
23	47.5	232	II
24	50.6	255	II
25	49.4	238	II
26	56.3	256	II
27	58.8	236	II
28	61.6	253	II
29	63.4	240	II
30	65.4	251	II
31	68.0	242	II
32	69.5	170	II
33	73.9	268	II
34	75.9	269	II

2. *Non Parafin*

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

PCM non parafin ini dibedakan lagi menjadi kelompok asam lemak dan organik *non parafin* lain. Bahan-bahan ini umumnya mudah menyala dan tidak boleh dibiarkan pada suhu tinggi, dekat api, dan bahan pengoksidasi. Material yang termasuk *PCM non parafin* dan *PCM* asam lemak dapat dilihat pada Tabel 2.

b. *PCM Anorganik*

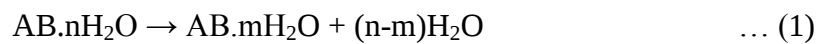
PCM anorganik tidak terlalu memiliki panas laten yang tinggi dan memiliki kestabilan termal yang bagus. *PCM* anorganik diklasifikasikan menjadi dua bagian yakni: hidrat garam (*salt hydrate*) dan logam (*metallic*).

1. Hidrat Garam

Hidrat garam dapat dilihat sebagai campuran garam anorganik dengan air membentuk padatan kristal tertentu dari formula umum $AB.nH_2O$. Berubah bentuk padat ke cair dari hidrat garam merupakan sebuah proses dehidrasi dari hidrasi garam.

Hidrat-hidrat garam biasanya meleleh menjadi sebuah hidrat garam dengan mol air yang sangat kecil. Pada titik lelehnya, kristal-kristal hidrat terpecah menjadi garam anhidrat dan air atau kedalam hidrat yang lebih rendah dan air.

Persamaan reaksi kimia dapat dituliskan sebagai berikut:



atau menjadi bentuk anhidrat,



Garam hidrat merupakan jenis *PCM* yang paling penting dan banyak dipelajari pada sistem penyimpanan energi. Sifat-sifat yang paling menonjol dari *PCM* jenis ini adalah: panas peleburan laten per-satuan volume tinggi, konduktivitas panas relatif tinggi (hampir dua kali parafin), dan perubahan volume selama meleleh kecil.

PCM jenis hidrat garam ini juga tidak terlalu korosif, kompatibel dengan plastik, dan hanya beberapa jenis yang beracun. Banyak jenis hidrat garam yang harganya tidak terlalu mahal untuk digunakan sebagai penyimpan panas. Pada Tabel 3 dapat dilihat beberapa jenis *PCM* dari hidrat garam.

Tabel 2. Titik leleh dan panas laten *PCM* non parafin dan *PCM* Asam Lemak (Sumber: Sharma dkk, 2009)

<i>PCM</i> Non Parafin		
Material	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
Formic acid	7.8	247
Caprilic acid	16.3	149
Glicerin	17.9	198.7
Alpa LActic Acid	26	184
Methyl palmitate	29	205
Phenol	41	120
Bee wax	61.8	177
Gyolic Acid	63	109
Azobenzene	67.1	121
Acrylic Acid	68	115
Glutanic Acid	97.5	156
Catechol	104.3	207
Quenon	115	171
Benzoic Acid	124	167
Benzamide	127.2	169.4
Oxalate	54.3	178
Alpa naphtol	96	163
<i>PCM</i> Asam Lemak		
Material	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
Acetic Acid	16.7	184
Poly ethylene glycol	20 - 25	146
Capric Acid	36	152
Eladic Acid	47	218
Lauric Acid	49	178
Pentadecanoic Acid	52.5	178
Tristearin	56	190
Mirystic Acid	58	199
Palmatic Acid	55	163
Stearic Acid	69.4	199
Aceramiide	81	141

b. Logam (*Metallic*)

Jenis ini juga mencakup logam dengan titik leleh rendah dan campuran logam. *PCM* jenis ini belum banyak menjadi perhatian sebab sangat berat. Namun, jika volume menjadi perhatian, jenis ini menjadi pilihan karena mempunyai panas peleburan laten per-satuan volume yang tinggi. Disamping itu

mereka juga mempunyai konduktivitas panas tinggi sehingga tidak diperlukan tambahan bahan pengisi yang berat. Daftar beberapa bahan metallic dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3 Titik leleh dan panas laten beberapa hidrat garam
(Sumber: Sharma dkk, 2009)

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
K ₂ HPO ₄ .6H ₂ O	14.0	109
FeBr ₃ .6H ₂ O	21.0	105
Mn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	25.5	148
FeBr ₃ .6H ₂ O	27.0	105
CaCl ₂ . 12H ₂ O	29.8	174
LiNO ₃ .2H ₂ O	30.0	296
LiNO ₃ .3H ₂ O	30	267
Na ₂ O ₃ .10H ₂ O	32.0	241
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	32.4	173
Kfe(SO ₄) ₂ .12H ₂ O	33	138
CaBr ₂ .6H ₂ O	34	124
LiBr ₂ .2H ₂ O	34	134
Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	36.1	223

Tabel 4 Titik leleh dan peleburan panas laten *PCM* metallic
(Sumber: Sharma dkk, 2009)

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
Galium-galium Antimony eutectic	29.8	-
Galium	30.0	80.3
Cerrolow eutectic	58	90.9
Bi-Cd-In eutectic	61	25
Cerrobend eutectic	70	32.6
Bi-Pb-In eutectic	70	29
Bi-In eutectic	72	25
Bi-Pb-tin eutectic	96	-
Bi-Pb eutectic	125	-

c. *PCM* Kombinasi

PCM kombinasi adalah sebuah komposisi dengan lelehan terendah dari dua komponen atau lebih, masing-masing meleleh dan membeku membentuk campuran dari komponen-komponen kristal selama proses kristalisasi (George dalam sharma dkk, 2019). *PCM* jenis ini hampir selalu meleleh dan membeku tanpa pemisahan karena mereka membeku menjadi sebuah campuran kristal, memberikan sedikit kesempatan pada komponen-komponennya untuk memisahkan diri. Pada saat meleleh kedua komponen mencair secara berurutan dengan pemisahan yang tidak diinginkan.

Tabel 5. Titik leleh dan peleburan panas laten *PCM* kombinasi
(Sumber : Sharma dkk, 2009)

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	14.4	140
Triethylethane + Water + Urea	13.4	160
$\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	25	95
$\text{NH}_3\text{CONH}_2 + \text{NH}_3\text{CONH}_2$	27	163
Naphtalene + benzoic Acid	67	123.4
Freezer salt	-50	325
Freezer salt	-23	330
Freezer salt	-16	330

3. Potensi *PCM* Minyak Kelapa

Pemilihan material berubah fasa penyimpanan energi, harus memiliki panas laten yang besar dan daya konduksi panas yang tinggi. Material berubah fasa harus memiliki suhu leleh atau beku dalam penggunaannya. (Oesterman dkk, 2012). Selanjutnya dalam penelitian lain yang dilakukan Mursalim dkk (2013), melakukan pengujian material minyak

kelapa didapat suhu beku dengan rentang $21,30 - 21,73^{\circ}\text{C}$. Dengan suhu pembekuan tersebut minyak kelapa sangat cocok dilakukan pengujian sebagai material *PCM* untuk menjaga suhu termal ruangan. Selain itu, minyak kelapa juga sangat mudah di temukan khususnya di Indonesia.

Indonesia merupakan negara dengan tumbuhan kelapa yang sangat banyak. Buah kelapa selain dapat dikonsumsi langsung maupun dijadikan bahan makanan, juga dapat dijadikan minyak. Minyak dari hasil buah kelapa ini yang sering di sebut minyak kelapa. Minyak kelapa merupakan asam lemak dan merupakan sebuah material yang dapat melakukan perubahan bentuk saat pada fasanya.

Minyak kelapa tersusun dari sejumlah asam lemak (*fatty acid*) dengan rumus kimiawi $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ dengan prosentase jumlah atau komposisi: asam caprylic (C_8) 9%, Decanonic(C_{10}) 10%, asam Lauric (C_{12}) 52%, asam myristic (C_{14}) 19%, asam palmitic (C_{16}) 11%, dan asam oleic tak tersaturasi (C_{18}) 8%. (Tipvarakarnkoon dkk, 2008).

Sedangkan menurut (Koenigsberger dkkdalam Putri, 2015), Minyak kelapa memiliki karakteristik fisis temperatur leleh sebesar 26°C , kalor laten sebesar $103,5 \text{ kJ/kg}$, dan kalor jenis sebesar $2100 \text{ J/Kg}^{\circ}\text{C}$. Nilai temperatur *melting* ini berada dalam rentang zona nyaman manusia di daerah tropis. Selain itu minyak kelapa juga memiliki *subcooling* yang sangat rendah sehingga proses transisi fasa padat-cair atau sebaliknya dapat terjadi secara reversible pada temperatur *melting*. Minyak kelapa

juga bersifat non-korosif sehingga cocok dengan berbagai jenis wadah atau kontainer logam atau non-logam.

Berdasarkan paparan potensi minyak kelapa dari berbagai sumber penelitian terdahulu diatas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa minyak kelapa sangat tepat sebagai *PCM*. Selanjutnya untuk melakukan pengujian maka minyak kelapa akan digunakan sebagai material yang digunakan untuk menjaga temperatur pada sebuah ruangan.

B. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah berpindahnya kalor dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Panas dapat berpindah dari suatu benda ke benda yang lain atau panas dapat berpindah dari suatu zat ke zat lain (Surbakti, dkk: 2013). Terdapat tiga cara kalor berpindah dari benda satu ke benda yang lain, yaitu dengan konduksi, konveksi, dan radiasi.

1. Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi merupakan cara perpindahan kalor dari bagian yang bersuhu tinggi ke suhu rendah dengan tidak terjadi perpindahan partikel-partikelnya. Proses perpindahan kalor tanpa perpindahan partikel ini yang dinamakan konduksi. Perpindahan kalor secara konduksi dapat terjadi dalam dua proses berikut yaitu:

- a. Pemanasan pada suatu ujung zat menyebabkan partikel-partikel pada ujung itu bergetar lebih cepat dan suhunya naik, atau energi kinetiknya bertambah. Partikel-partikel dengan energi kinetik lebih besar ini memberikan sebagian energi kinetiknya kepada partikel-

partikel tetangganya melalui tumbukan, sehingga partikel-partikel ini memiliki energi kinetik lebih besar. Selanjutnya, partikel-partikel ini memberikan sebagian energi kinetiknya ke partikel-partikel tetangga berikutnya, demikian seterusnya sampai kalor mencapai ujung yang tidak dingin (tidak dipanasi). Proses perpindahan kalor diperlukan beda suhu diantara kedua ujung.

- b. Dalam logam, kalor dipindahkan melalui elektron-elektron bebas yang terdapat dalam struktur atom logam. Elektron bebas ialah elektron yang dengan mudah dapat berpindah dari satu atom ke atom yang lain. Di tempat yang dipanaskan, energi elektron-elektron bertambah besar. Oleh karena elektron bebas mudah berpindah, pertambahan energi ini dengan cepat dapat diberikan ke elektron-elektron lain yang letaknya lebih jauh melalui tumbukan. Dengan cara ini kalor berpindah lebih cepat. Oleh karena itu, logam tergolong konduktor yang sangat baik.

Berdasarkan kemampuan menghantarkan kalor, zat dibagi atas dua golongan besar yaitu konduktor dan isolator. Konduktor ialah zat yang mudah menghantarkan kalor. Isolator ialah zat yang sukar menghantarkan kalor. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju konduksi kalor melalui sebuah dinding bergantung pada empat besaran yaitu:

- a. Beda suhu diantara permukaan $\Delta T = T_1 - T_2$; semakin besar beda suhu, semakin cepat perpindahan kalor.
- b. Ketebalan dinding; semakin tebal dinding, maka semakin lambat perpindahan kalornya.

- c. Luas permukaan; semakin besar luas permukaan maka semakin cepat perpindahan kalor.
- d. Konduktivitas termal suatu zat merupakan ukuran kemampuan zat menghantarkan kalor; semakin besar nilai konduktivitasnya, maka semakin cepat perpindahan kalor.

Kemampuan insulasi bahan diukur dengan konduktivitas termal (k). Konduktivitas termal yang rendah setara dengan kemampuan insulasi (resistansi termal atau nilai R) yang tinggi.

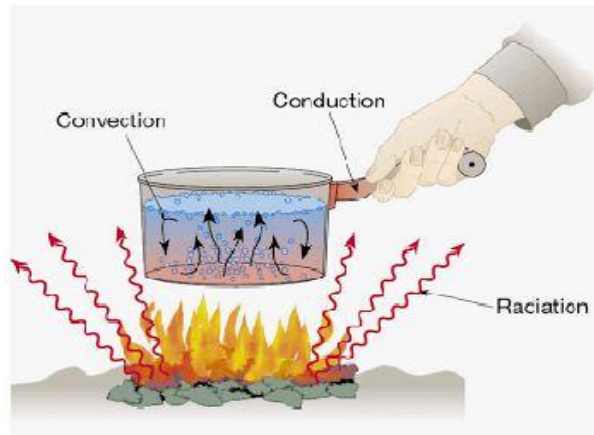
2. Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi merupakan proses perpindahan kalor dari fluida ke bagian fluida yang lain oleh pergerakan fluida itu sendiri. Terdapat dua jenis perpindahan panas secara konveksi, yaitu konveksi alamiah dan konveksi paksa. Pada konveksi alamiah pergerakan fluida terjadi akibat perbedaan massa jenis. Bagian fluida yang menerima kalor akan memuai dan massa jenisnya menjadi lebih kecil, sehingga terjadi pergerakan ke atas. Tempatnya digantikan oleh bagian fluida dingin yang jatuh karena massa jenisnya lebih besar.

3. Radiasi

Kalor dari matahari dapat disampaikan ke bumi melalui ruang hampa tanpa zat perantara. Perpindahan kalor seperti ini disebut radiasi. Perpindahan kalor dapat melalui ruang hampa karena energi kalor dibawa dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Radiasi atau pancaran adalah perpindahan energi kalor dalam bentuk gelombang elektromagnetik.

Proses perpindahan panas dari konduksi, konveksi, dan radiasi dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3. Mekanisme perpindahan panas
(Sumber: Sumiati, 2013)

C. Pengondisian Udara

Pengondisian udara merupakan usaha manusia agar suatu ruangan tercapai kondisi temperatur, kelembaban, kebersihan, dan distribusi udara dapat dipertahankan pada tingkat keadaan yang diharapkan. Suatu sistem pengondisian udara bisa berupa sebuah sistem pemanasan, pendinginan, dan ventilasi. Untuk kondisi iklim indonesia (tropis), untuk proses pengondisian udara yang berupa pendinginan banyak sekali digunakan. Pendingin ini merupakan upaya memperoleh kenyamanan termal suatu ruangan dengan mengatur suhu yang ada.

Menurut W.F. Stoecker dalam (Syahrizal dkk: 2013) pengondisian udara adalah proses perlakuan udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada didalamnya. Arismunandar dalam

(Syahrizal dkk: 2013) mengatakan, penyegaran udara adalah proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan tertentu. Selain itu, untuk mengatur aliran udara dan kebersihannya.

Melihat sistem pengondisian udara yang banyak dijumpai, tentunya pemilihannya harus melihat faktor sebagai berikut:

a. Faktor kenyamanan

Faktor kenyamanan dalam ruangan sangat tergantung pada beberapa parameter yang bisa diatur oleh sistem pengondisian udara. Parameter itu antara lain meliputi temperatur bola basah dan bola kering dari udara, aliran udara, kebersihan udara, bau, kualitas ventilasi, maupun tingkat kebisingannya. Semua parameter diatas diatur sesuai dengan kondisi kerja yang terjadi pada ruangan yang dikondisikan. Dari sudut pandang kenyamanan, maka sistem pengondisian udara yang baik adalah sistem yang mampu menciptakan kondisi nyaman yang merata pada semua komponen yang dikondisikan dalam ruangan.

b. Faktor ekonomi

Faktor ekonomi yang menjadi pertimbangan antara lain adalah biaya awal untuk pemasangan, biaya operasi, dan perawatan untuk sistem setelah peralatan difungsikan. Dari sudut pandang faktor ekonomi, suatu sistem pengondisian udara yang baik adalah dengan biaya total serendah-rendahnya.

c. Faktor operasi dan perawatan

Faktor yang secara umum yang menjadi pertimbangan adalah faktor konstruksi yang mudah dimengerti susunan dan cara menjalankannya. Secara lebih detail hal ini terkait dengan beberapa konstruksi yang sederhana, tingkat efisiensi yang tinggi, mudah dalam perawatan, mudah direparasi jika terjadi kerusakan, serta dapat melayani perubahan kondisi operasi.

1. Mesin Pengondisian Udara/ *Air Conditioning* (AC)

Mesin pengondisian udara merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menurunkan temperatur, atau peralatan yang berfungsi untuk memindahkan panas ke suatu tempat yang temperaturnya lebih tinggi. Teknik refrigerasi merupakan salah satu ilmu dalam mempelajari mesin pendingin. Teknik refrigerasi adalah semua teknik yang digunakan untuk menurunkan temperatur suatu material sampai lebih rendah dari pada temperatur lingkungannya. Dalam melakukan proses penurunan suhu, sejumlah energi dalam bentuk panas diambil dari material tersebut dan dibuang ke lingkungan.

Secara alami, panas akan berpindah dari material yang temperaturnya lebih tinggi ke material yang temperaturnya lebih rendah. Dengan kata lain, perpindahan panas dari benda yang dingin ke material yang lebih panas tidak akan mungkin terjadi secara alami. Maka untuk membuat proses ini digunakanlah teknik refrigerasi.



Gambar 4 Peralatan Mesin *Air Conditioning* (AC)
(Sumber: <http://samsung.com>)

Refrigerasi merupakan sebuah proses yang bertujuan menurunkan temperatur, maka proses ini sering disebut dengan istilah fungsi refrigerasi yang artinya proses yang berfungsi menurunkan temperatur sampai dapat mencapai temperatur lingkungan. Jika benda disentuh dengan benda dingin, tidak lama kemudian suhu benda panas akan turun, sedangkan suhu benda dingin akan naik. Hal ini terjadi karena benda panas memberikan kalor kepada benda dingin. Jadi, kalor berpindah dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah. Suatu alat yang menggunakan teknologi refrigerasi yaitu *Air Conditioning* (AC).

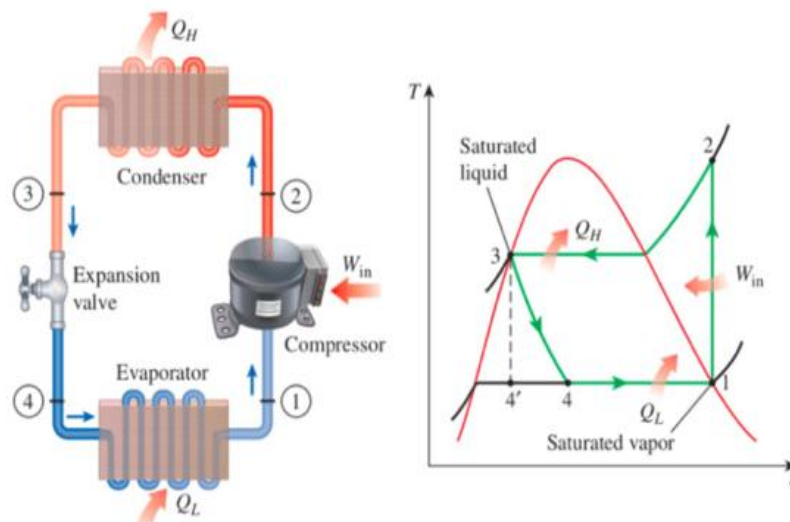
Adjrizal dkk (2010) Menjelaskan bahwa, mesin refrigerasi yang berfungsi sebagai mesin pengondisian udara umumnya digunakan untuk mengkondisikan ruangan dengan memanfaatkan efek pendinginan dari evaporator yang memberikan rasa nyaman dan sejuk untuk penghuni atau orang yang bekerja di dalam ruangan tersebut baik di perumahan, perkantoran dan industri. Mesin refrigerasi adalah salah satu jenis mesin

konversi energi, dimana sejumlah energi dibutuhkan untuk menghasilkan efek pendinginan. Di sisi lain, panas dibuang oleh sistem ke lingkungan untuk memenuhi prinsip-prinsip termodinamika agar mesin dapat berfungsi.

AC merupakan alat yang saat ini banyak digunakan manusia untuk menurunkan temperatur suhu ruangan. AC dapat membuat manusia nyaman didalam ruangan sehingga aktivitas yang dilakukan menjadi lebih efektif. Karena dalam beberapa hal manusia membutuhkan lingkungan yang nyaman dalam mengoptimalkan pekerjaannya. Tingkat kenyamanan suatu ruangan juga ditentukan oleh temperatur, kelembaman, sirkulasi dan tingkat kebersihan udara.

2. Prinsip Kerja Pendingin Ruangan (AC)

Prinsip pendinginan udara AC melibatkan siklus refrigerasi, yakni udara didinginkan oleh *refrigerant* (*freon*), kemudian *freon* ditekan menggunakan kompresor sampai tekanan tertentu dan suhunya naik. Selanjutnya *freon* didinginkan oleh udara lingkungan sehingga mencair. Proses tersebut berjalan berulang-ulang sehingga menjadi suatu siklus yang disebut siklus pendinginan. Siklus pendinginan memanfaatkan udara yang berfungsi mengambil kalor dari udara dan membebaskan kalor ini ke luar ruangan. Prinsip kerja mesin pendingin ruangan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Prinsip Kerja Air Conditioning AC
(Sumber: <https://www.chegg.com/>)

Berdasarkan Gambar 5 Prinsip kerja AC dalam mengondisikan ruangan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Mula-mula udara panas dalam ruangan diserap oleh evaporator. Pada evaporator yang bertekanan rendah udara diserap dan temperatur udara dipertahankan pada temperatur tertentu.
- Panas atau kalor dari evaporator yang berupa refrigeran, selanjutnya dihisap oleh kompresor. Dalam hal ini kompresor menguapkan refrigeran yang berada pada evaporator sehingga pada evaporator terjadi penyerapan kalor atau proses pendinginan udara.
- Refrigeran yang dihisap oleh kompresor, selanjutnya ditekan masuk ke kondensor. Pada kondensor terjadi panas sehingga kalor dari kondensor dikeluarkan, yaitu dengan cara mendinginkan kondensor, baik dengan pendinginan udara maupun dengan pendinginan air. Selanjutnya, refrigeran yang telah mengalami tekanan dan

pendinginan pada kondensor yang berupa uap refrigeran, berubah menjadi refrigeran cair yang telah mengalami pendinginan.

- d. Refrigeran yang telah mengalami pendinginan, selanjutnya masuk ke evaporator melalui katup ekspansi yang berada pada evaporator. Pada katup ekspansi ini terjadi penguapan refrigeran sehingga pada evaporator temperatur udara mengalami pendinginan. Udara yang telah mengalami pendinginan dikembalikan atau disirkulasikan oleh kipas atau blower kedalam ruangan.

3. Beban Pendinginan AC

Beban pendinginan bangunan terdiri dari panas yang ditransfer melalui selubung bangunan (dinding, atap, lantai, jendela, pintu dll.) dan panas yang dihasilkan oleh penghuni, peralatan, dan lampu. (ASHRAE: 1997) Beban pendinginan merupakan laju panas yang harus dipindahkan dari ruangan ke lingkungan sehingga suhu dan kandungan uap airnya terjaga seperti yang diinginkan. Banyak faktor yang mempengaruhi besarnya beban pendinginan, misalnya kondisi suhu diluar ruangan yang masuk kedalam, peralatan di dalam ruangan yang dapat menghasilkan panas, serta jumlah manusia yang keluar masuk ruangan.

a. Jenis beban pendinginan

Jenis beban pendinginan, dapat dibagi menjadi dua, yaitu panas sensibel dan panas laten. Panas sensibel adalah panas yang diterima atau dilepaskan suatu materi sebagai akibat perubahan suhunya. Panas laten adalah panas yang diterima atau dilepaskan suatu materi karena perubahan fasanya.

b. Sumber-sumber beban pendingin

Beban pendingin bagi mesin pendingin yang kondisinya dapat berasal dari berbagai sumber. Sumber ini dibagi menjadi dua, yaitu beban yang berasal dari luar mesin pendingin dan beban yang berasal dari dalam ruangan. Panas yang berasal dari luar mesin pendinginan antara lain: panas yang berpindah secara konduksi, konveksi, dan radiasi dari dinding-dinding material mesin pendingin ruangan. Terdapat juga panas akibat masuknya udara luar yaitu berupa kebocoran udara dan perambatan cahaya matahari dari dinding bangunan. Sementara sumber panas yang berasal dari dalam ruangan dapat berupa panas akibat, peralatan listrik, manusia, dan penerangan. Adapun sumber-sumber beban pendingin dijelaskan sebagai berikut:

a. Panas dari tubuh manusia di dalam ruangan

Tubuh manusia dalam beraktivitas, selalu mengeluarkan panas ke udara sekelilingnya. Panas yang dilepaskan oleh tubuh manusia ini terdiri dari dua jenis, yaitu panas sensibel dan panas laten. *Sensible Heat Gain* (SHG) dan *Latent Heat Gain* (LHG) adalah perkiraan besar panas sensibel dan panas laten yang dikeluarkan oleh manusia sesuai umur dan aktivitas yang dikeluarkannya. Data nilai dari SHG dan LHG ditampilkan pada Tabel 6.

b. Panas lampu dari dalam ruangan

Lampu atau alat penerangan mengubah energi listrik menjadi cahaya, dan sebagian energi ini akan berubah panas. Sebagai catatan bola lampu akan terasa panas setelah dihidupkan beberapa

lama. Besarnya panas yang dilepaskan bola lampu/penerangan ke lingkungan adalah panas sesibel.

Tabel 6. *Sensible Heat Gain (SHG)* dan *Laten Heat Gain (LHG)* (ASHRAE, 2011)

S/N	Aktivitas	SHG (Watt)	LHG (Watt)
1	Seated at rest	60	40
2	Seated, very light work, writing	65	55
3	Seated, eating	75	95
4	Seated. Light work, typing	75	75
5	Standing, light work, walking, slowly	90	95
6	Light bench work	100	130
7	Light machine work	100	205
8	Heavy work	165	305
9	Moderate dancing	120	255
10	Athletics	185	340

c. Panas dari udara luar (*Infiltrasi*)

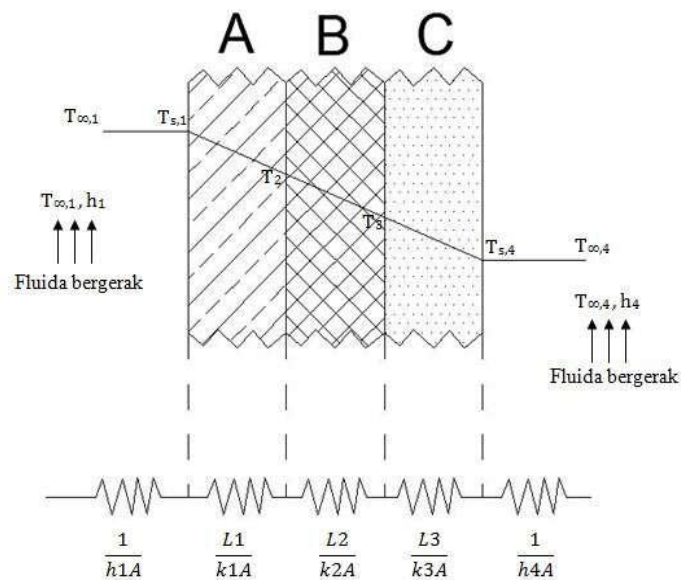
Akibat masuknya udara luar, baik secara sengaja ditambahkan maupun akibat kebocoran (tidak disengaja), akan menjadi beban bagi ruangan yang dikondisikan. Panas udara dari luar biasanya ada dua yaitu panas dari udara ventilasi dan panas udara infiltrasi.

Panas *Infiltrasi* merupakan panas yang masuk dikarenakan adanya kebocoran (tidak disengaja). Jumlah panas akibat masuknya udara dari luar terdiri dari dua jenis yaitu panas *sensibel* dan panas *laten*. Panas *sensibel* adalah panas yang diterima atau dilepaskan suatu materi sebagai akibat perubahan suhunya. Panas *laten* adalah panas yang diterima atau dilepaskan suatu materi karena perubahan fasanya.

c. Beban Pendingin Total

Beban pendingin total dari suatu mesin pendingin dapat dihitung berdasarkan panas dari konduksi, konveksi, dan radiasi. Perhitungan konduktivitas bahan melalui dinding/plat berlapis dapat dihitung berdasarkan persamaan yang diterangkan pada Gambar 6. Besarnya beban pendingin total dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{kond,konv}} + Q_{\text{rad}} + Q_{\text{manusia}} + Q_{\text{lampu}} + Q_{\text{infiltrasi}}$$



Gambar 6. Perhitungan konduktivitas bahan melalui dinding/pelat

d. Nilai COP pada Mesin Pendingin

COP atau *Coefficient Of Performance* adalah perbandingan yang terbaik antara *output* (keluaran) dengan *input* (masukan). *COP* pada mesin pendingin dapat dihitung dengan membandingkan besar nilai beban pendingin total dengan jumlah daya inputnya.

D. Aplikasi PCM Pada Dinding Bangunan

PCM adalah media yang digunakan untuk menyimpan kalor dari lingkungan ke dalam sistem penyimpanan. Penyimpan energi bekerja saat temperatur lingkungan lebih rendah dari sistem dan berlaku sebaliknya. Kualitas penyimpanan energi sangat bergantung pada karakteristik bahan yang digunakan. Sistem penyimpanan kalor terbagi menjadi dua, yaitu sistem penyimpanan kalor *sensibel* dan sistem penyimpanan kalor *laten*. Sistem penyimpanan kalor *sensibel* bekerja pada fasa perubahan temperatur dari material, sedangkan sistem penyimpanan kalor *laten* bekerja pada fasa perubahan wujud zat (padat-cair, cair-gas, padat-gas, atau sebaliknya).

Material yang dimanfaatkan sebagai penyimpan kalor laten dikenal sebagai *Phase Change Material (PCM)*. Pemanfaatan PCM pada bangunan yaitu untuk menurunkan atau menjaga suhu ruangan pada gedung. Pengaplikasiannya yaitu dengan memanfaatkan udara malam untuk melakukan proses pembekuan dan akan dilepaskan saat siang hari ketika suhu ruangan berada diatas suhu material.

Kasaseian dkk (2017) Mengatakan, perubahan fasa material terjadi ketika perbedaan suhu udara antara siang dan malam. Suhu udara malam menyebabkan material melakukan proses perubahan fasa (pembekuan), dan akan dilepaskan di siang hari (peleburan) sehingga suhu ruangan tetap terjaga. Potensi *freecooling* dengan PCM untuk mengurangi beban pendinginan gedung yang tergantung langsung pada suhu udara sekitar.

Sedangkan Osterman, dkk (2012) pada penelitiannya menyimpulkan bahwa, penyimpanan energi dingin menggunakan perubahan fasa material (*PCM*) sangat baik diaplikasikan pada bangunan karena memiliki suhu lebur yang baik. Berdasarkan studi numerik dan eksperimen yang dilakukan, penggunaan *PCM* pada bangunan dapat mengurangi beban puncak AC. Sehingga perlu diketahui karakteristik dari sistem tersebut seperti tingkat pengisian atau pemakaian, massa *PCM*, laju aliran udara, inlet, dan suhu udara outlet, dll.

Penggunaan enkapsulasi *PCM* pada batako berongga dapat menurunkan konduktivitas termal hingga 19,5%, dan untuk penggunaan *PCM* dalam box pada dinding bagian dalam dapat menurunkan temperatur permukaan dinding bagian dalam hingga 30⁰C (Irsyad, dkk. 2017). Pada proses pelelehan, telah diperoleh hubungan antara ketebalan *PCM* dengan temperatur dan kecepatan aliran udara dengan waktu pelelehan. Temperatur udara yang dialirkan pada permukaan box *PCM* dapat berkurang (Irsyad, dkk. 2017). Berdasarkan penelitian terdahulu diatas, *PCM* dapat melakukan penurunan beban termal di ruangan. Pemilihan dan penentuan material *PCM* yang akan digunakan menjadi faktor penentu maksimalnya penurunan termal.

III. METODE PENELITIAN

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *PCM* dalam penurunan temperatur ruangan perlu dilakukan kajian eksperimental. Pembahasan pada metode penelitian ini terdiri dari: tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan, prosedur pengujian, diagram alur pengujian, pengambilan data, dan pengolahan data. Metode penelitian digunakan untuk memperoleh data penelitian dari sebuah ruangan. Data yang diambil yaitu beban termal, penggunaan daya listrik, serta karakteristik perpindahan panas dan perubahan fasa dari material minyak kelapa.

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah mengambil data dari sebuah ruangan yang sudah didesain menyerupai ruang kerja yang proses pengontrol suhunya selalu menggunakan *AC*. Kedua peneliti mengambil data dari ruangan tersebut setelah melakukan modifikasi dengan penambahan material berubah fasa/*Phase Change Material (PCM)* pada dindingnya dan instalasi udara malam sebagai perantara pendinginan *PCM*.

Pada penelitian ini parameter yang diukur yaitu daya listrik yang dibutuhkan *AC* dan temperatur lingkungan. Temperatur lingkungan terbagi menjadi enam area seperti: temperatur input udara *AC*, output udara *AC*, dinding dalam, dinding luar, output heater, dan temperatur ruangan. Pengukuran dilakukan dua tahap yaitu tahap awal dan tahap perlakuan. Berdasarkan hasil pengamatan dan pengambilan data

dari data awal dan data perlakuan, peneliti melakukan pengamatan karakteristik proses pembekuan *PCM* pada malam hari, proses peleburan *PCM* pada siang hari, pengukuran suhu termal dan penggunaan daya AC.

A. Tempat dan Waktu

Dalam pelaksanaan pengambilan data tentang penggunaan material berubah fasa/ *Phase Change Material (PCM)* maka dibutuhkan sebuah ruangan yang dijadikan tempat pelaksanaan. Tempat dan waktu pelaksanaan yaitu:

1. Tempat

Penelitian dan pengambilan data dilaksanakan di Laboratrium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

2. Waktu

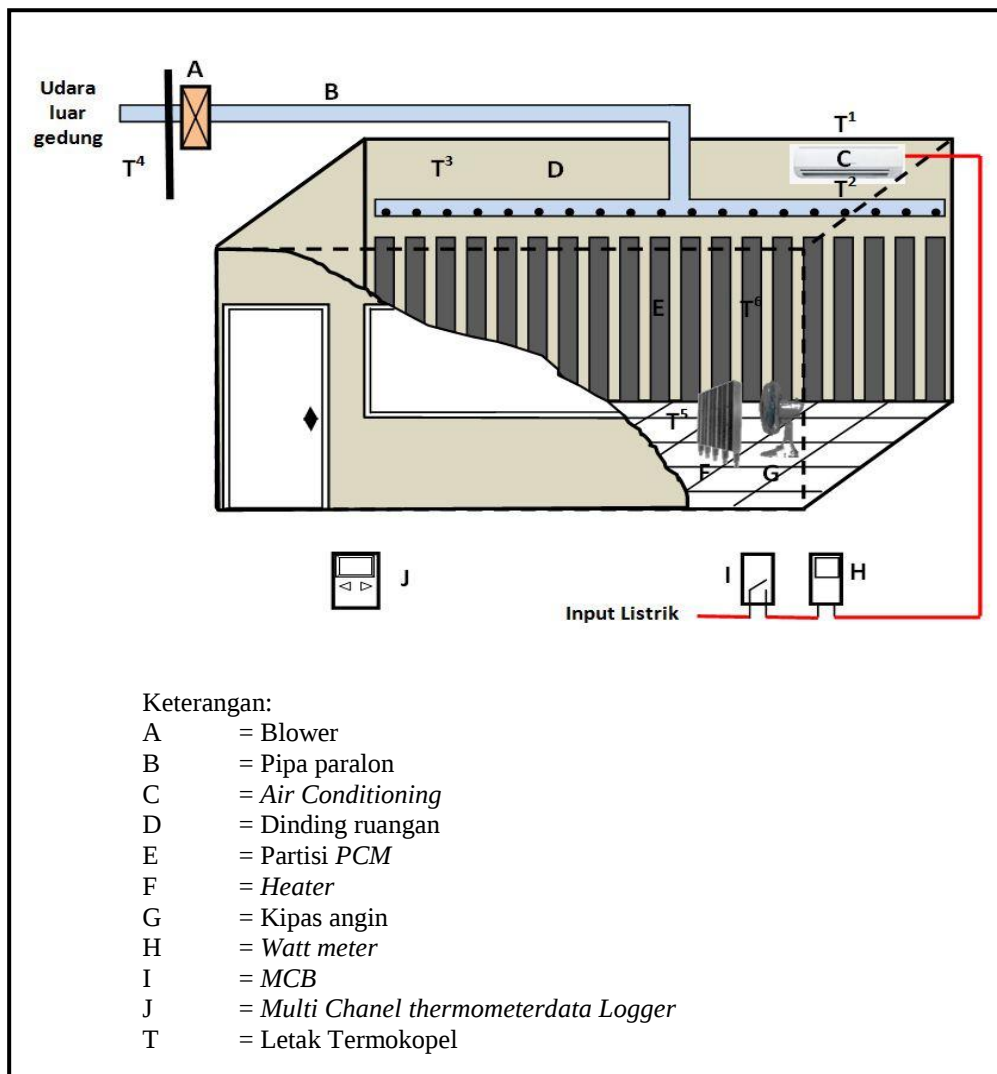
Penelitian dilakukan pada bulan September 2020 sampai dengan Desember 2020 dengan kegiatan sebagai berikut:

Tabel 7. Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	September				Oktober				November				Desember			
1	Studi literatur																
2	Persiapan ruangan dan alat pengujian																
3	Pengujian																
4	Analisis data																
5	Pembuatan laporan																

B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini meliputi: *Air conditioning (AC)*, *thermokopel*, *wattmeter*, jam/pewaktu, meteran, *heater*, kipas angin, *blower*, paralon, dan *anemometer*. Sedangkan bahan yang digunakan adalah *Phase Change Material (PCM)* jenis minyak kelapa (*coconut oil*), *aluminium hollow*, *sterofoam*, dan *resin*. Adapun gambar skema pemasangan alat dan bahan sebagai berikut :



Gambar 7. Skema pemasangan alat dan bahan pada ruang uji

1. Alat

a. Air Conditioning (AC)

Air conditioner merupakan mesin yang dibuat untuk menstabilkan suhu dan kelembapan udara di suatu ruangan. AC yang digunakan sebesar 1 PK atau 735,5 Watt. AC digunakan dalam penelitian untuk mendinginkan ruangan.

c. Termokopel

Termokopel merupakan alat ukur berupa kabel sensor yang berfungsi mengukur temperatur ruang yang diamati. Termokopel ini dihubungkan ke *Multi Chanel thermometer data Logger* sehingga sinyal analog dari termokopel diubah menjadi sinyal digital dan temperatur yang diukur dapat dibaca dan direkam.



(a)



(b)

Gambar 8. Alat ukur temperatur
(a) *Termocouple* (b) *Multi Chanel thermometer data Logger*

d. WattMeter

Watt Meter yaitu alat pengukur energi listrik yang digunakan sebuah alat elektronik. *Watt Meter* untuk mengukur besarnya energi listrik dari penggunaan AC pada ruangan.



Gambar 9. Alat pengukur energi listrik (*Watt Meter*)

e. Jam

Jam merupakan alat yang digunakan untuk menunjukkan waktu rentan penelitian. Lama waktu penelitian dicatat sesuai penunjuk waktu pada jam.

f. Meter

Meter merupakan sebuah alat ukur yang digunakan untuk mengukur panjang dan lebar sebuah ruangan yang dijadikan sampel penelitian.

g. *Heater*

Heater merupakan alat pemanas udara yang terdiri dari elemen-elemen penghasil panas sehingga suhu di lingkungan akan meningkat.

h. Kipas Angin

Kipas angin merupakan alat yang berfungsi menghasilkan hembusan angin. Hembusan angin ini digunakan untuk mensirkulasikan panas yang dihasilkan heater.

i. *Blower*

Blower merupakan alat elektrik yang berfungsi untuk membuat aliran udara malam untuk masuk dan mengalir ke *PCM* dengan melewati paralon.

j. *Paralon*

Paralon berfungsi untuk mengalirkan udara luar malam hari. Udara malam diarahkan ke *PCM* dengan menggunakan paralon.

k. *Anemometer*

Anemometer merupakan alat pengukur tekanan udara yang mengalir. *Anemometer* digunakan untuk mengukur udara malam yang dialirkan melalui pipa paralon.



Gambar 10. *Anemometer*

2. **Bahan**

1. *Material PCM*

PCM yang digunakan yaitu jenis minyak kelapa. Minyak kelapa dipilih dikarenakan dapat melakukan penyimpanan termal yang besar.



Gambar 11. Minyak kelapa barco

2. Alumunium *hollow*

Alumunium *hollow* merupakan sebuah wadah yang digunakan untuk membungkus *PCM*. Alumunium *hollow* yang berisi minyak kelapa ini diletakan pada dinding-dinding bangunan untuk menurunkan beban termal sebuah ruangan. Alumunium *hollow* yang dipakai berukuran 4 x 1 Inch

3. *Sterofoam*

Sterofoam merupakan bahan busa yang digunakan sebagai bahan penutup lapisan pertama alumunium *hollow*.

4. Resin

Resin merupakan cairan yang dapat membeku. Resin ini digunakan sebagai penutup lapisan kedua alumunium *hollow*.

C. Prosedur Pengujian

1. Seleksi alat penelitian dan pengamatan

Tahap seleksi alat digunakan untuk memastikan peralatan dalam keadaan baik dan dapat digunakan untuk pengamatan.

2. Persiapan ruangan penelitian

Persiapan ruangan penelitian dan mendesain sedemikian rupa sebagai ruang kerja, sehingga dapat menggambarkan keadaan ruang kerja yang memiliki beban termal untuk pendinginan.

3. Pengukuran beban termal ruangan

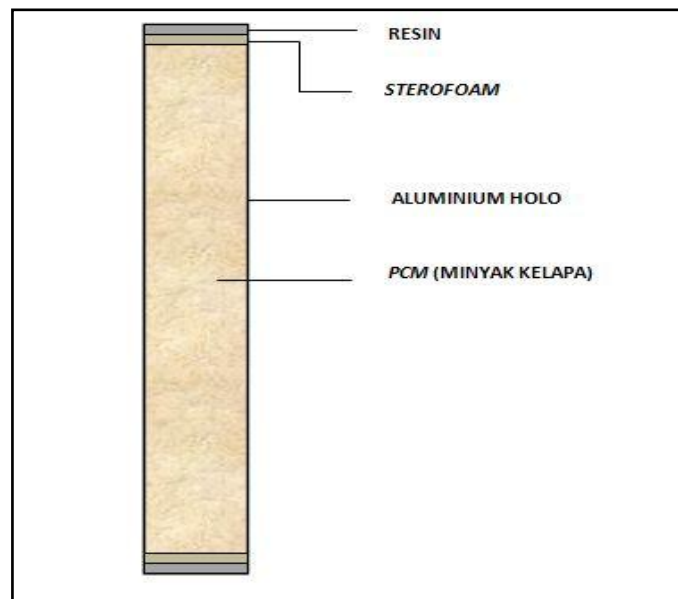
Pengukuran beban termal awal pada ruangan yang telah didesain sebagai ruang kerja, sehingga mendapatkan data beban termal bagi pendingin ruangan

4. Pemilihan dan penentuan jenis *PCM*

Pemilihan jenis *PCM* sebagai media untuk mengkondisikan suhu ruangan dengan material berubah fasa. Pemilihan ini merujuk pada besarnya titik lebur dan tinginya penyimpanan panas pada material yang dipilih.

5. Pengepakan *PCM* dan pemasangan pada dinding

Pengepakan *PCM* minyak kelapa pada alumunium *hollow* agar memudahkan instalasi pada dinding



Gambar 12. Pengepakan *PCM* pada Alumunium *hollow*

6. Pengujian dan pengambilan data beban termal dan konsumsi listrik.

Pengujian dan pengambilan data dilakukan dalam tiga tahapan yaitu pada ruang *non PCM*, ruang berpartisi *PCM* dan ruang berpartisi *PCM* dengan udara malam. Pada masing-masing ruangan akan dilakukan perlakuan yaitu variasi terhadap pengaturan AC dan variasi *heater*. Variasi beban AC diambil tiga pengaturan yaitu 18 °C, 20 °C, dan 22 °C, dimana ruangan akan diatur oleh AC dengan temperatur tersebut pada setiap pengaturan. Sedangkan heater digunakan untuk pembangkit termal ruangan. Heater yang digunakan yaitu 200 Watt, 400 Watt, 600 Watt, dan 800 Watt.

7. Analisis dan pembahasan

Analisis data yang diambil pada tiap perlakuan dan dibandingkan untuk melihat karakteristik sebagai berikut:

- a. Laju perpindahan panas
- b. Keseimbangan energi yang terjadi
- c. Perbandingan temperatur ruangan
- d. Analisis konsumsi energi AC

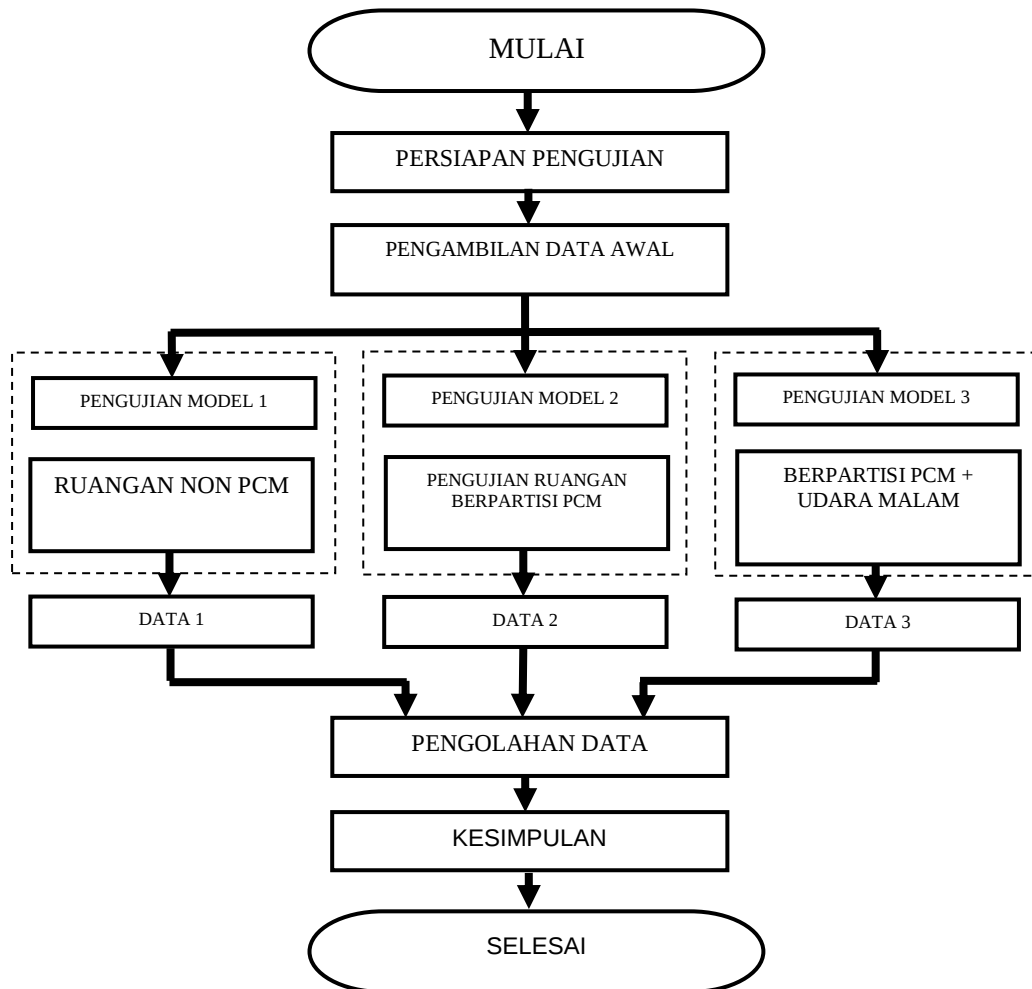
8. Menyimpulkan

Berdasarkan data yang diperoleh maka tahap terakhir yaitu menyimpulkan.

D. Diagram Alur Penelitian

Diagram alur merupakan tahap-tahapan dalam proses penelitian dimulai dari awal persiapan hingga proses pembuatan laporan. Pada diagram alur dibawah ini dijelaskan proses penelitian dengan membandingkan tiga model ruangan yang diberikan perlakuan berbeda. Ketiga model ruangan diambil data dan dibandingkan sehingga memperoleh hasil dan kesimpulan. Dengan

membandingkan maka terlihat perbedaan dan penurunan beban termal yang ada. Untuk melihat proses perbandingan model ruangan maka disajikan dalam diagram alur penelitian pada Gambar 13.



Gambar 13. Diagram Alur Penelitian

E. Pengambilan Data

1. Persiapan *eksperiment set up*

Eksperimen dilakukan pada suhu AC 18⁰C, 20⁰C, 22⁰C dan dilakukan variasi heater sebagai pengganti beban termal sebesar 200 watt, 400 watt, 600 watt dan 800 watt dengan waktu kerja 8 jam pada tiap perlakuan.

2. Melakukan pengujian pengambilan data temperatur

Pengambilan data temperatur dilakukan menggunakan termokopel sebagai pendeteksi suhu. Temperatur yang diukur ada 9 area menggunakan 9 termokopel. Adapun posisi termokopel yang disusun pada: T_1 dinding luar, T_2 dinding dalam, T_3 AC masuk, T_4 AC keluar, T_5 heater keluar, T_6 ruangan, T_7 heater masuk, T_8 PCM, dan T_9 Hollow. Pengambilan data temperatur dilakukan disetiap variasi heater baik sebelum perlakuan maupun sesudah perlakuan penggunaan PCM. Pengambilan data tercatat pada *data logger* dan dianalisis.

3. Melakukan pengujian pengambilan data daya listrik

Pengambilan data daya listrik diambil selama 8 jam, dimulai pukul 08.00 sampai dengan 16.00. *Watt meter* membawa penggunaan daya dari AC selama bekerja. Data yang ditampilkan wattmeter dicatat setiap 30 menit selama 8 jam pemakaian. Pengambilan data daya dilakukan pada semua pada semua pengujian dan di analisis serta dibandingkan.

F. Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk melihat seberapa besar perubahan akibat perlakuan penggunaan PCM minyak kelapa terhadap perubahan temperatur ruangan dan besarnya konsumsi energi listrik. Analisis data dilakukan dengan membandingkan pengujian awal dan pengujian setelah perlakuan, serta melihat karakteristik setiap perubahan data. Untuk melihat pengaruh dan karakteristik dari perlakuan maka data dianalisis sebagai berikut:

1. Menghitung perpindahan panas

a. Perpindahan panas *heater*

Perpindahan panas *heater* dihitung untuk melihat besarnya panas yang di lepaskan masing-masing *heater* pada setiap pengaturan AC yang diberikan. Untuk menghitung perpindahan panas *heater* maka dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\dot{Q}_{Heater} = \dot{m}_{udara} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad \dots(1)$$

Keterangan:

$\dot{Q}_{Heater}$: Laju perpindahan panas *heater* (Watt)
 $\dot{m}_{udara}$: Laju aliran massa udara (kg/s)
 C_p : Panas jenis (J/kg.K)
 ΔT : Beda temperatur (°K)

b. Perpindahan panas *PCM*

Perpindahan panas *PCM* dihitung untuk melihat besarnya panas yang dilepaskan *PCM* pada masing-masing *heater* dan setiap pengaturan AC yang diberikan. Untuk menghitung perpindahan panas *PCM* maka dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\dot{Q}_{pcm} = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{\Delta t} \quad \dots(2)$$

Keterangan:

$\dot{Q}_{PCM}$: Laju perpindahan panas *PCM*(Watt)
 m : Massa *PCM*
 C_p : Panas jenis (J/kg.K)
 ΔT : Beda temperatur (°K)
 Δt : Waktu (s)

c. Perpindahan panas AC

Perpindahan panas AC dihitung untuk melihat besarnya panas yang di diterima AC pada masing-masing *heater* dan setiap pengaturan AC yang diberikan. Untuk menghitung perpindahan panas AC maka dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\dot{Q}_{AC} = \dot{m}_{udara} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad \dots(3)$$

Keterangan:

$\dot{Q}_{AC}$: Laju perpindahan panas AC (Watt)
 $\dot{m}_{udara}$: Laju aliran massa udara (kg/s)
 C_p : Panas jenis (J/Kg.K)
 ΔT : Beda temperatur (K)

2. Menghitung kesetimbangan energi

Kesetimbangan energi adalah perhitungan jumlah energi kalor yang diserap AC dengan energi yang dikeluarkan *heater* dan *PCM*. Untuk melihat kesetimbangan energi maka harus diketahui besarnya energi pada masing-masing AC, *heater* dan *PCM* yang pindah selama 8 jam penggunaan. Setelah diketahui untuk melihat kesetimbangan yang terjadi maka dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$Q_{AC} \geq Q_{Heater} + Q_{PCM} \quad \dots(4)$$

Keterangan:

Q_{AC} : Jumlah energi kalor AC (Joule)
 Q_{HEATER} : Jumlah energi kalor *heater* (Joule)
 Q_{PCM} : Jumlah energi kalor *PCM* (Joule)

3. Menghitung energi listrik

Menghitung energi listrik yang dipakai terdapat dua tahapan yaitu:

a. Menghitung energi yang dipakai AC dan *Blower*

AC dan *blower* masing-masing membutuhkan energi yang berbeda dalam penggunaannya. Menghitung pemakaian energi yang digunakan AC dan *blower* maka digunakan persamaan di bawah ini:

$$E = P \cdot t \quad \dots (5)$$

Keterangan:

E : Energi AC/*Blower* (Joule)

P : Daya (Watt)

t : Waktu (secon)

b. Menghitung energi total (E_{Total})

Energi yang dipakai AC merupakan total energi saat AC bekerja selama 8 jam. Sedangkan energi *blower* energi yang dipakai *blower* bekerja selama 2 jam. Setelah menghitung masing-masing energi yang dipergunakan maka untuk menghitung energi total digunakan persamaan di bawah ini:

$$E_{Total} = E_{AC} + E_{Blower} \quad \dots (6)$$

Keterangan:

E_{Total} : Energi total keseluruhan yang dipakai

E_{AC} : Energi yang dipakai AC

E_{Blower} : Energi yang dipakai *blower*

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan *Phase Change Materials (PCM)* jenis minyak kelapa dan pemanfaatan udara malam sebagai pendingin ruangan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Beban termal sebuah ruangan sangat mempengaruhi proses pendinginan *PCM* minyak kelapa (Barco). Hal tersebut terlihat pada analisis laju perpindahan panas yang diterima *PCM*, dimana semakin besar beban termal ruangan yang ada maka nilai laju perpindahan panas dari *PCM* semakin tinggi. Nilai puncak laju perpindahan panas terlihat pada 30 menit pertama mencapai 420 Watt pada *heater* 800 Watt, 370 Watt pada *heater* 600 Watt, 340 Watt pada *heater* 400 Watt, dan 330 Watt pada *heater* 200 Watt. Setelah 30 menit pertama nilai laju perpindahan panas *PCM* akan semakin rendah, hal ini disebabkan telah terjadi keseluruhan proses perubahan fasa pada minyak kelapa.
2. Pengaruh penurunan energi yang dikonsumsi AC pada pemanfaatan *PCM* terlihat pada grafik perbandingan ruangan (*Non PCM*, berpartisi *PCM*, berpartisi *PCM* dengan udara malam). Penurunan yang dicapai menunjukkan nilai 0,8 kWh untuk AC 20°C, dan sebesar 0,4 kWh untuk AC 22°C selama pemakaian 8 jam dengan beban ruangan 800 watt.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang didapatkan, maka saran yang dapat diberikan untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut:

1. Disarankan lakukan pengujian pada wilayah yang memiliki suhu temperatur yang sesuai dengan kriteria perubahan fasa material yang digunakan agar pengaruh penggunaan *PCM* lebih terlihat.
2. Disarankan untuk melakukan pengondisian suhu beku *PCM* diawal terlebih dahulu sebelum pengambilan data, agar efek penggunaannya lebih terlihat.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Haditi, Mustofa (2018) "*Experimental Investigation of Heat Reduction through Walls Using Phase Change Material*": Anbar Journal Of Engineering Science, Vol.7, No.3 (2018) 245 – 251.
- Badan Pusat Statistik (2020) "Tentang suhu dingin di Indonesia": <https://www.bps.com/>. [diakses tanggal 2 Maret 2020].
- Badan Standar Nasional (2011) "Tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung" : SNI 6390:2011.
- BMKG (2021) Perkiraan cuaca di wilayah lampung. <https://www.bmkg.com/> [diakses tanggal 11 Agustus 2021].
- Hermanto dkk. (2005). Pengembangan Metode Simulasi Sistem Pengkondisian Udara Energi Surya. Jurnal Teknik Mesin Volume 20, Vol.20, 58–67.
- Incroperara, F. P. and D. P. Dewitt (1982) *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, ThirdEdition. Singapore: John Wiley& Sons.
- M. Irsyad, dkk (2017) "*Heat transfer characteristics of building walls using phase change material*": IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol 60, (2017) Page 012028.
- _____. (2017) "*Heat Transfer Characteristics of Coconut Oil As Phase Change Material To Room Cooling Application*" : IOP Conference Series: Earth and Environmental Science , Vol 60, (2017) Page 012027 .
- Kasaein, Alibakhsh dkk (2017) "*Experimental studies on the applications of PCMs and nano-PCMs in buildings*": A critical review: Energy and Buildings 154 (2017) 96–112.
- Mursalim, dkk (2013) "Fraksinasi kering minyak kelapa menggunakan kristalisator skala 120 kg untuk menghasilkan fraksi minyak kaya triasilgliserol rantai menengah" : Jurnal Littri Volume 19 (1), Maret 2013. Hlm. 41-49 ISSN 0853-8212.

- Osterman dkk (2012) “*Review of PCM based cooling technologies for buildings*” : Energy and Buildings, Vol 49, (2012) Page 37–49
- Pasupathy dkk (2008) “*Phase change material-based building architecture for thermal management in residential commercial establishments*” : Elsevier journal, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (2008) 39–64
- Peraturan Pemerintah (2012) “Tentang penghematan pemakaian tenaga listrik” : PP No 13 tahun 2012
- Pudjiastuti, Wiwik (2011) “Jenis-jenis bahan berubah fasa dan aplikasinya”: Jurnal Kimia Kemasan, Vol. 33 No.1 April 2011 : 118-123
- Rismanchi, Behza (2017) *A review on cool thermal storage technologies and operating strategies* : Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 787– 797
- Sharma dkk (2009) “*Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*” : Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 318–345
- Situs perkiraan cuaca (2021) “Data perkiraan cuaca perjam dalam satu hari dan perkiraan cuaca harian dalam satu bulan pada Agustus 2021” : <https://www.wheather.com/> [diakses tanggal 11 Agustus 2021]
- Sumiati, Ruzita (2013) “*The Influence of Paraffin dan Grease Usage in Car Ceilingto Control The Parking Car Cabin Temperature*”: POLI REKAYASA Volume 8, Nomor 2 ISSN : 1858-3709