

**PEMANFAATAN PARAFIN SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI
TERMAL PADA SISTEM PEMANAS AIR DENGAN
KOLEKTOR SURYA JENIS PELAT DATAR**

**OLEH:
ANDRIYANTO
1825021003**

(Tesis)

Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Magister

**Pada
Program Pasca Sarjana Magister Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCA SARJANA MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PEMANFAATAN PARAFIN SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI TERMAL PADA SISTEM PEMANAS AIR DENGAN KOLEKTOR SURYA JENIS PLAT DATAR

Oleh

ANDRIYANTO

Potensi energi matahari di Indonesia sangat besar. Intensitas radiasi matahari berkisar antara 10-12 jam sehari dengan radiasi matahari rata-rata 4,8 kWh/m²/hari. Potensi energi matahari ini sangat cocok dimanfaatkan untuk pemanasan air. Teknologi pemanas air menggunakan kolektor surya sudah banyak diproduksi secara komersial dengan model penyimpanan air panas langsung. Tipe ini memiliki kekurangan yakni apabila air tidak dimanfaatkan sampai sore hari, maka sisa waktu setelah temperatur air panas tercapai tidak dapat dimanfaatkan untuk pemanasan air selanjutnya, sehingga air hangat yang dihasilkan hanya yang tersimpan dalam tabung tersebut. Ada metode yang sedang dikembangkan sekarang untuk mengoptimalkan panas matahari dalam sistem pemanasan air yakni menggunakan material fasa berubah (*phase change material* disingkat PCM) sebagai penyimpan energi termal. Parafin lilin dengan temperatur pelelehan berkisar antara 40°C – 50°C dapat dimanfaatkan sebagai penyimpan energi termal yang nanti dapat digunakan untuk memproduksi air panas. Penelitian ini dilakukan pada sistem pemanas air tenaga surya menggunakan kolektor surya jenis plat datar dengan ukuran 80 cm x 50 cm dan penyimpanan energi termal menggunakan paraffin lilin dalam alat penukar kalor yang dilengkapi tube dengan diameter 1 inch yang disusun secara seri dengan panjang pipa 50 cm dan berjumlah 36 batang sebagai materi perantara perpindahan panas antara air dan PCM. Massa parafin yang digunakan adalah 15 kg atau 17,7 liter. Alat penukar kalor terhubung dengan tabung penyimpanan dengan ukuran: diameter .20 cm, dan panjang 58 cm, serta volume air yang tersimpan sebesar 28,57 liter. Pengujian dilakukan dengan variasi laju aliran air yakni: 2 lpm, 3 lpm dan 4 lpm, serta radiasi matahari dengan nilai: 997,5 W/m², 1183 W/m² dan 1393,8 W/m². Hasil penelitian menunjukkan bahwa: pemanasan air dapat dilakukan sebanyak dua kali. Temperatur pemanasan air optimum adalah 45°C untuk yang pertama dan 40°C untuk yang kedua. Waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan pertama adalah 18,7 menit dan 33,7 menit untuk yang kedua.

ABSTRACT

UTILIZATION OF PARAFIN AS THERMAL ENERGY STORAGE IN WATER HEATING SYSTEMS WITH FLAT PLATE SOLAR COLLECTORS

By

ANDRIYANTO

The potential of solar energy in Indonesia is very large. The intensity of solar radiation ranges from 10-12 hours a day with an average solar radiation of 4,8 kWh/m²/day. The potential of solar energy is very suitable to be used for heating water. Water heating technology using solar collectors has been produced commercially with direct hot water storage models. This type has the disadvantage that if the water is not used until the afternoon, the remaining time after the hot water temperature is reached cannot be used for further heating of the water, so that the only warm water produced is stored in the tube. There is a method being developed now to optimize solar heat in water heating systems, namely using a phase change material (PCM) as a thermal energy store. Paraffin wax with melting temperature ranging from 40 °C – 50 °C can be used as a thermal energy storage which can later be used to produce hot water. This research was conducted on a solar water heating system using a flat plate type solar collector with a size of 80 cm x 50 cm and thermal energy storage using paraffin wax in a heat exchanger equipped with a 1 inch diameter tube arranged in series with a pipe length of 50 cm and totaling 36 rods as heat transfer material between water and PCM. The mass of paraffin used is 15 kg or 17,7 liters. The heat exchanger is connected to a storage tube with a size of .20 cm in diameter and 58 cm in length, and the volume of water stored is 28,57 liters. The test was carried out with variations in the flow rate of water : 2 lpm, 3 lpm and 4 lpm, and solar radiation with values of: 997.5 W/m², 1183 W/m² and 1393.8 W/m². The results showed that: heating water can be done twice. The optimum water heating temperature is 45 °C for the first and 40 °C for the second. The time needed for the first warm-up was 18,7 minutes and 33,7 minutes for the second.

Judul Tesis : **PEMANFAATAN PARAFIN SEBAGAI
PENYIMPAN ENERGI TERMAL PADA
SISTEM PEMANAS AIR DENGAN
KOLEKTOR SURYA JENIS PLAT DATAR**

Nama Mahasiswa : **Andriyanto**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1825021003**

Program Studi : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



Ketua

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

Anggota

Dr. Amrizal, S.T., M.T.
NIP. 19700202 199803 1 004

MENGETAHUI

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

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

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin

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

MENGESAHKAN

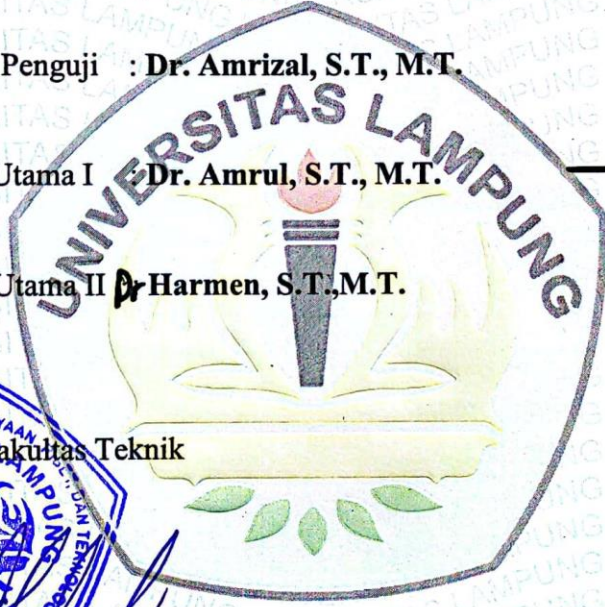
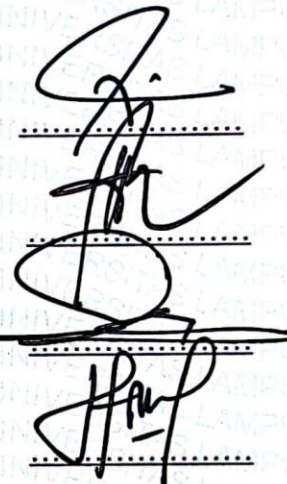
1. Tim Penguji

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

Anggota Penguji : Dr. Amrizal, S.T., M.T.

Penguji Utama I : Dr. Amrul, S.T., M.T.

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



2. Dekan Fakultas Teknik



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

3. Direktur Pasca Sarjana Universitas Lampung



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

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 14 JUNI 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundangundangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Bandar Lampung, Juni 2022
Yang Membuat



Andriyanto
NPM 1825021003

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di desa sumber rejo kecamatan pagelaran kabupaten pringsewu pada tanggal 5 juli 1985 sebagai anak ketiga dari empat bersaudara, dari pasangan bapak Paijan dan ibu Mistiyah.

Jenjang pendidikan penulis pertama masuk Sekolah Dasar pada tahun 1992 di SDN 2 Candiretno, lulus pada tahun 1998.

Lalu penulis melanjutkan di SLTP 11 Maret Sumber Agung, lulus pada tahun 2001. Setelah lulus SLTP penulis melanjutkan pendidikan di SMK YPT Pringsewu lulus pada tahun 2004. Lalu penulis melanjutkan pendidikan di Akademi Teknologi Pringsewu (ATP) untuk meraih gelar A.Md.T. lulus pada tahun 2007. Setelah lulus dari ATP penulis melanjutkan pendidikan di USBRJ Bandar Lampung untuk meraih gelar S.T. Pada tahun 2018 Penulis melanjutkan pendidikan Pascasarjana (S2) di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung (UNILA) dengan mengambil konsentrasi konversi energi, sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik penulis melakukan penelitian Tesis dengan judul tugas akhir “Pemanfaatan Parafin Sebagai Penyimpan Energi Termal pada Sistem Pemanas Air dengan Kolektor Surya Jenis Plat Datar” dibawah bimbingan Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. dan Dr. Amrizal, S.T., M.T.

MOTTO

*Pengetahuan Yang Baik Adalah Yang Memberikan
Manfaat, Bukan Hanya Diingat (Imam Syafi'i)*

*Pendidikan Merupakan Senjata Paling Ampuh yang Bisa
Kita Gunakan untuk Merubah Dunia (Nelson Mandela)*

Habis Gelap Terbitlah Terang (R.A. Kartini)

PERSEMBAHAN

*Tesis ini penulis persembakan untuk :
Istri dan Kedua Anakku Tersayang
Ayah dan Ibuku Tercinta*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “PEMANFAATAN PARAFIN SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI TERMAL PADA SISTEM PEMANAS AIR DENGAN KOLEKTOR SURYA JENIS PLAT DATAR” tepat pada waktunya.

Adapun tujuan dari penulisan Tesis ini adalah sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penyelesaian Tesis ini tentunya tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
2. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Gusri A. Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Magister Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. 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. Dr. Amrizal, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua, yang telah menyediakan waktu dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
6. Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku dosen penguji I yang telah bersedia memberikan saran dan kritik dalam penyempurnaan penulisan tesis ini.
7. Harmen, S.T., M.T., selaku dosen penguji II yang telah bersedia memberikan

saran dan kritik dalam penyempurnaan penulisan tesis ini.

8. 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.
9. Teman-teman Pasca Sarjana Teknik Mesin (angkatan 2018), semoga kebersamaan dan persaudaraan kita tidak berakhir hanya dikampus ini.
10. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir.

Meskipun telah berusaha menyelesaikan Tesis ini sebaik mungkin, penulis menyadari bahwa penelitian ini masih ada kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca guna menyempurnakan segala kekurangan dalam penyusunan Tesis ini. Akhir kata, penulis berharap semoga Tesis ini berguna bagi para pembaca dan pihak-pihak lain yang berkepentingan.

Bandar lampung, Januari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Manfaat Penelitian	5
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Sistematika Penulisan	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Energi Panas Matahari	7
2.2. Solar Water Heater (Pemanas Air Tenaga Surya)	8
2.2.1. Prinsip Kerja Pemanas Air Tenaga Surya	9
2.2.2. Kolektor Surya	10
2.2.2.1. Kolektor Surya Terkonsentrasi	13
2.2.2.2. Kolektor Surya Tabung Terevakuasi	13
2.2.2.3. Kolektor Surya Pelat Datar	14
2.3. Material Perubah Fase / PCM	16
2.3.1. PCM Organik	18
2.3.1.1. Parafin	18
2.3.1.2. Non Parafin	19
2.3.2. PCM Anorganik	21
2.3.2.1. Hidrat Garam	21
2.3.2.2. Logam (Metallic)	21

2.3.3.	PCM Kombinasi	22
2.4.	Perpindahan Panas	22
2.4.1.	Perpindahan Panas Secara Konduksi	22
2.4.2.	Perpindahan Panas Secara Konveksi	23
2.4.3.	Perpindahan Panas Secara Radiasi	25
2.5.	Alat Penukar Panas	26
2.5.1.	Heat Exchangers Menurut Arah Aliran	26
2.5.1.1.	Linear Flow (Aliran Searah)	26
2.5.1.2.	Cuonter Flow (Aliran Berlawanan)	27
2.5.1.3.	Cross Flow (CF)	28
2.5.2.	Tipe Heat Exchangers Menurut Model	28
2.5.2.1.	Heat Exchangers Shell and Tube	28
2.5.2.2.	Plate Heat Exchangers	29

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.1.1.	Tempat	31
3.1.2.	Waktu	31
3.2.	Alat dan Bahan	32
3.2.1.	Alat	32
3.2.1.1.	Kolektor Surya Plat Datar	32
3.2.1.2.	Solar Simulator	35
3.2.1.3.	Pipa Air	35
3.2.1.4.	Alat Penukat Panas / Heat Exchangers (HE)	36
3.2.1.5.	Termometer termokopel	38
3.2.1.6.	Water Flowmeter Sensor	39
3.2.1.7.	Pompa Air	39
3.2.1.8.	Keran Air	40
3.2.1.9.	Tabung Penyimpan Air Panas	41
3.2.1.10.	Solarimeter	42
3.2.2.	Bahan	42
3.2.2.1.	Fluida Air	42
3.2.2.2.	PCM Parafin	43

3.3.	Diagram Alir Metodologi Penelitian	43
3.4.	Skema dan Prosedur Pengujian	45
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Proses Charging/Pelelehan PCM	47
4.1.1.	Pengaruh Laju Aliran Terhadap Temperatur Air Masuk dan Keluar Kolektor serta Tempertur Rata-rata Kolektor	48
4.1.2.	Pengaruh Radiasi Terhadap Temperatur Air Masuk dan Keluar Kolektor serta Tempertur Rata-rata Kolektor	51
4.1.3.	Pengaruh Laju Aliran Terhadap Temperatur Air Keluar HE	54
4.1.4.	Pengaruh Radiasi Terhadap Temperatur Air Keluar HE	57
4.1.5.	Pengaruh Laju Aliran Terhadap Temperatur Rata-rata PCM.	60
4.1.6.	Pengaruh Radiasi Terhadap Temperatur Rata-rata PCM	63
4.2.	Proses Discharging/Memanaskan Air	66
4.2.1.	Pemanasan Air Siklus Pertama	66
4.2.1.1.	Pengaruh Laju Aliran Terhadap Temperatur Air Masuk dan Keluar HE	66
4.2.1.2.	Pengaruh Laju Aliran Terhadap Temperatur Air Pada Tabung	67
4.2.1.3.	Pengaruh Laju Aliran Terhadap Temperatur rata-rata air dan paraffin	68
4.2.2.	Pemanasan Air Siklus Kedua	69
4.2.2.1.	Pengaruh Laju Aliran Terhadap Temperatur Air Masuk dan Keluar HE	70
4.2.2.2.	Pengaruh Laju Aliran Terhadap Temperatur Air Pada Tabung	71
4.2.2.3.	Pengaruh Laju Aliran Terhadap Temperatur rata-rata air dan paraffin	72
4.3.	Laju Perpindahan Panas	73
4.3.1.	Laju Perpindahan Panas pada Kolektor	73
4.3.2.	Laju Perpindahan Panas di HE Pada Saat Proses Pelelehan PCM	76
4.3.3.	Laju Perpindahan Panas di Tabung Pada Saat Proses	

Pemanaan Air	79
4.3.3.1. Siklus Pertama	79
4.3.3.2. Siklus Kedua	80

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan	82
5.2. Saran	84

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Titik leleh dan panas peleburan laten paraffin.....	18
2.2. Titik leleh dan panas laten <i>PCM</i> non paraffin.....	20
2.3. Titik leleh dan panas laten <i>PCM</i> Asam Lemak	20
3.1. Rencana Pelaksanaan Penelitian	31
3.2. Spesifikasi termokopel	38
3.3. Spesifikasi pompa air	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Sistem energi matahari	8
2.2. Pemanas air tenaga surya	9
2.3. Cara kerja pemanas air tenaga surya	10
2.4. Contoh bentuk dan komponen kolektor surya	12
2.5. Kolektor surya terkonsentrasi	13
2.6. Skema kolektor tabung terevakuasi	14
2.7. Skema kolektor surya pelat datar	15
2.8. Prinsip kerja PCM	16
2.9. Perpindahan panas Konduksi	23
2.10. Perpindahan panas konveksi	24
2.11. Perpindahan panas radiasi	26
2.12. Paralel Flow	27
2.13. Counter Flow	27
2.14. Cross Flow	28
2.15. sistematik HE tipe <i>Shell and Tube</i>	29
2.16. <i>Heat Exchanger</i> Plat Tipe Gasket	30
3.1. Kolektor surya aliran paralel	33
3.2. Kolektor surya	34
3.3. Solar simulator	35
3.4. Bentuk pipa paralon untuk air panas	36
3.5. Desain bentuk HE	37
3.6 Termometer termokopel	38
3.7. <i>Water flow meter</i>	39
3.8. Pompa air	40

3.9. Keran air	40
3.10. Tabung penyimpanan air panas	41
3. 11. <i>Solarimeter</i>	42
3.12. Parafin padat	43
3.13. Diagram alur penelitian	44
3.14. Skema Pengujian PCM pada HE	45
4. 1. Pengaruh Laju Aliran Terhadap T Air Keluar dan Masuk Kolektor serta Temperatur Rata-rata Kolektor pada Radiasi 997,5 W/m ²	48
4. 2. Pengaruh Laju Aliran Terhadap T Air Keluar dan Masuk Kolektor serta Temperatur Rata-rata Kolektor pada Radiasi 1183 W/m ²	49
4. 3. Pengaruh Laju Aliran Terhadap T Air Keluar dan Masuk Kolektor serta Temperatur Rata-rata Kolektor pada Radiasi 1393,8 W/m ²	50
4.4. Pengaruh Radiasi Terhadap T Air Masuk dan Keluar Kolektor serta Temperatur Rata-rata Kolektor pada Debit aliran 2 Lpm	51
4.5. Pengaruh Radiasi Terhadap T Air Masuk dan Keluar Kolektor serta Temperatur Rata-rata Kolektor pada Debit aliran 3 Lpm	52
4.6. Pengaruh Radiasi Terhadap T Air Masuk dan Keluar Kolektor serta Temperatur Rata-rata Kolektor pada Debit aliran 4 Lpm	53
4.8. Pengaruh Laju Aliran Terhadap T Keluar HE pada Radiasi 997,5 W/m ² ...	54
4.9. Pengaruh Laju Aliran Terhadap T Keluar HE pada Radiasi 1183 W/m ²	56
4.10. Pengaruh Laju Aliran Terhadap T Keluar HE pada Radiasi 1393,8 W/m ² .	57
4.11. Pengaruh Radiasi Terhadap T Keluar HE pada Debit aliran 2 Lpm	58
4.12. Pengaruh Radiasi Terhadap T Keluar HE pada Debit aliran 3 Lpm	59
4.13. Pengaruh Radiasi Terhadap T Keluar HE pada Debit aliran 4 Lpm	60
4.14. Pengaruh Laju Aliran Terhadap T PCM Rata-rata pada Radiasi 997,5 W/m ²	61
4.15. Pengaruh Laju Aliran Terhadap T PCM Rata-rata pada Radiasi 1183 W/m ²	62
4.16. Pengaruh Laju Aliran Terhadap T PCM Rata-rata pada Radiasi 1393,8 W/m ²	63
4.17. Pengaruh Radiasi Terhadap Temperatur PCM Rata-rata pada Debit aliran 2 Lpm	64

4.18. Pengaruh Radiasi Terhadap Temperatur PCM Rata-rata pada . Debit aliran 3 Lpm	65
4.19. Pengaruh Radiasi Terhadap Temperatur PCM Rata-rata pada Debit aliran 4 Lpm	67
4.20. Grafik perbandingan air masuk dan keluar HE siklus pertama pada radiasi 997,5 W/m ²	68
4.21. Grafik perbandingan air dalam tabung siklus pertama pada radiasi 997,5 W/m ²	69
4.22. Grafik perbandingan air dan parafin siklus pertama pada radiasi 997,5 W/m ²	70
4.23. Grafik perbandingan air masuk dan keluar HE siklus kedua pada radiasi 997,5 W/m ²	71
4.24. Grafik perbandingan air dalam tabung siklus kedua pada radiasi 997,5 W/m ²	72
4.25. Perpindahan Panas di Kolektor pada Aliran 2 Lpm	73
4.26. Perpindahan Panas di Kolektor pada Aliran 3 Lpm	74
4.27. Perpindahan Panas di Kolektor pada Aliran 4 Lpm	75
4.28. Perpindahan Panas di HE pada Aliran 2 Lpm	76
4.29. Perpindahan Panas di HE pada Aliran 3 Lpm	77
4.30. Perpindahan Panas di HE pada Aliran 4 Lpm	78
4.31. Grafik laju perpindahan panas siklus pertama pada radiasi 997,5 W/m ²	80
4.32. Grafik perbandingan laju perpindahan panas siklus kedua pada radiasi 997,5 W/m ²	81

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Water heater atau pemanas air di Indonesia sepertinya sudah menjadi gaya hidup di apalagi di lingkungan perkotaan. Di samping memang sangat nyaman mandi air hangat saat badan penat setelah seharian bekerja, dan memang juga dibutuhkan bagi anggota keluarga yang terkena rematik atau yang alergi dingin dan juga lanjut usia. Maka solusinya salah satunya mandi sore menggunakan air hangat.

Untuk mendapatkan air panas secara tradisional, cukup dengan memasak air dengan kompor. Kemudian muncul masalah, menunggu air panas membutuhkan waktu yang lama dan jumlah air panas yang didapat juga terbatas. Semakin banyak air yang dipanaskan, maka semakin lama menunggunya dan tentunya semakin banyak pula bahan bakar yang dibutuhkan. Atas dasar inilah kehadiran teknologi pemanas air menjadi pilihan.

Solar water heater adalah alat yang digunakan untuk memanaskan air menggunakan panas sinar matahari. Alat pemanas air ini adalah alat pemanas dengan tingkat efisiensi yang paling tinggi di Indonesia, karena letak geografis Indonesia yang berada di garis khatulistiwa, dengan panas dan cahaya matahari yang melimpah, maka pemanfaatan energi panas matahari ini dapat digunakan sebagai alternatif terbaik untuk *solar water heater* alat pemanas air. Tetapi pada kondisi khusus seperti cuaca hujan, atau mendung sehari-hari, serta cepat dinginnya air panas pada tabung penyimpanan bila malam hari, sementara kebutuhan air panas justru meningkat maka perlu dilengkapi alat tambahan untuk mengoptimalkan air panas di dalam tabung *solar water heater*.

Englmair Gerald, dkk (2016) telah melakukan penelitian pada penyimpanan panas laten berdasarkan bahan pengubah fase Sodium Acetate Trihydrate (SAT). Penyimpanan panas terdiri dari 4 modul individu yang masing-masing berisi sekitar 200 kg natrium asetat trihydrate dengan aditif yang berbeda dengan tujuan untuk memperoleh penyimpanan yang lama. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa penyimpanan energi termal untuk satu modul butuh waktu 270 menit dengan langit cerah.

Zhao Juan, dkk (2018) telah melakukan penelitian pada sistem pemanas surya (SHS) dengan tangki penyimpanan termal material perubahan fasa (PCM). Tangki PCM dibuat dari plat datar yang didalamnya terdapat plat berlapis untuk tempat material PCM. Hasilnya menunjukkan bahwa SHS dengan tangki PCM memberikan peningkatan kemampuan hemat energi sebesar 34% dibandingkan dengan sebuah sistem pemanas tangki air biasa.

Mesut Abuska, dkk (2018) telah melakukan penelitian tentang penyimpanan panas laten PCM pada kinerja termal surya pemanas udara. Pengujian dilakukan dengan membandingkan tiga kolektor surya. Kolektor surya (tipe I) kolektor di isi PCM dengan tambahan plat alumunium inti sarang lebah, (tipe II) kolektor di isi PCM tanpa tambahan plat alumunium, (tipe III) kolektor tanpa PCM dan plat alumunium. Hasil pengujian menunjukan efisiensi, kolektor Tipe I-II dengan PCM lebih efisien antara 2,6 hingga 22,3%, terutama pada laju aliran massa yang tinggi.

Darwin (2013) telah melakukan penelitian dengan membandingkan pengaruh kinerja panas solar water heater konfigurasi pipa seri dan pipa paralel. Dari hasil penelitian diperoleh suhu air di tangki pengumpul dengan pipa paralel yaitu:

- sudut 5° setara dengan 52 °C dan juga mencapai efisiensi yaitu 46,16%,
- pada sudut 10° sebesar 54 °C mencapai efisiensi 48,15%,
- pada sudut 15° sama dengan 51 °C mencapai efisiensi 45,10% dan
- pada sudut 20° sebesar 48 °C serta mencapai efisiensi yaitu 39,60%.

sedangkan suhu air di dalam tangki dengan pipa seri yaitu:

- pada sudut 5° sama dengan 48°C efisiensi tercapai 41,67%,
- pada sudut sebesar 10° sebesar 49°C efisiensi tercapai 42,86%,
- pada sudut 15° sebesar 47°C tercapai efisiensi sebesar 40,43% dan
- pada sudut 20° sebesar 46°C dan juga mencapai efisiensi yaitu 39,14%.

Secara umum, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kolektor surya dengan konfigurasi pipa paralel memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan kolektor surya konfigurasi pipa seri.

Sualiman (2013) telah melakukan penelitian pada kolektor pemanas air surya plat datar yang di cat hitam buram dengan fluida (air) disirkulasikan menggunakan pompa. Volume air di dalam tangki sebanyak 50 liter. Pengujian dilakukan dengan 5 variasi kapasitas aliran yaitu 3 liter/menit, 5 liter/menit, 7 liter/menit, 9 liter/menit, 10 liter/menit yang diatur dengan regulator dan katup. Pengambilan data dilakukan dalam rentang waktu 15 menit selama 5 jam (300 menit) setiap variasi kapasitas aliran. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kerja kolektor yang optimal terlihat pada kapasitas aliran 7,5 liter/menit.

Maldonado dkk, (2014) telah melakukan pengujian pada kolektor surya dengan dimensi $1,4\text{ m}^2$ dengan tangki penyimpanan 100 L. Hasil pengujian menunjukkan suhu tertinggi mencapai $55,0^{\circ}\text{C}$ dan turun menjadi $47,6^{\circ}\text{C}$ pada malam hari. Laju aliran berada pada kisaran 0,0038-0,04 kg/s, dan efisiensi rata-rata global adalah 30,2%.

Shalaby, dkk (2020) telah melakukan pengujian pemanas air tenaga surya terintegrasi dengan shell seri dan sistem penyimpanan panas laten (PCM) parafin dengan tabung bersirip. Hasil pengujian menunjukkan bahwa panas yang dicapai bertahan dari $60,4$ hingga 50°C pada malam hari.

Dari penelitian Englmaier Gerald, dkk (2016), Zhao Juan, dkk (2018) dan Mesut Abuska, dkk (2018), Penulis menyimpulkan bahwa PCM merupakan media

penyimpan panas yang baik. Dan parafin padat/lilin parafin merupakan media yang umum untuk penyimpan panas laten. Dari penelitian Darwin (2013), Sualiman (2013) dan Maldonado dkk, (2014), Penulis menyimpulkan bahwa kolektor surya atau alat untuk memanaskan air dengan energi panas matahari yang baik menggunakan pipa susunan parallel dan diberi plat sebagai luas penampang serta dicat hitam. Dari penelitian Shalaby, dkk (2020), menerangkan bahwa alat penukar panas yang baik baik untuk PCM adalah pipa rangkaian seri dan diberi sirip.

Dari beberapa literasi penelitian yang telah dilaksanakan, Penulis mendapat ide untuk melakukan penelitian lanjutan yaitu pemanfaatan parafin sebagai penyimpan energi termal pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis pengaruh laju aliran terhadap temperatur keluar HE pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
2. Menganalisis pengaruh radiasi terhadap temperatur keluar HE pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
3. Menganalisis pengaruh laju aliran terhadap temperatur rata-rata PCM pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
4. Menganalisis pengaruh radiasi terhadap temperatur rata-rata PCM pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
5. Menganalisis pengaruh laju aliran terhadap temperatur air masuk dan air keluar pada HE.
6. Menganalisis pengaruh laju aliran terhadap temperatur air masuk dan air keluar serta temperatur rata tengah pada tabung penyimpan air.
7. Menganalisis pengaruh laju aliran terhadap temperatur rata-rata air dan paraffin.
8. Menganalisis pengaruh laju aliran perpindahan panas di HE dan tabung air.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui berapa besar pengaruh laju aliran terhadap temperatur keluar HE pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
2. Mengetahui berapa besar pengaruh radiasi terhadap temperatur keluar HE pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
3. Mengetahui berapa besar pengaruh laju aliran terhadap temperatur rata-rata PCM pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
4. Mengetahui berapa besar pengaruh radiasi terhadap temperatur rata-rata PCM pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
5. Mengetahui berapa besar pengaruh laju aliran terhadap temperatur air masuk dan air keluar pada HE.
6. Mengetahui berapa besar pengaruh laju aliran terhadap temperatur air masuk dan air keluar serta temperatur rata tengah pada tabung penyimpan air.
7. Mengetahui berapa besar pengaruh laju aliran terhadap temperatur rata-rata air dan paraffin.
8. Mengetahui berapa besar pengaruh laju aliran perpindahan panas di HE dan tabung air.

1.4 Batasan Masalah

Agar lebih terarah dan fokus perlu dilakukan batasan masalah sebagai berikut:

1. *Phase Change Material (PCM)* yang digunakan parafin padat / lilin parafin pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
2. Pengujian dilakukan dengan menggunakan solar simulator dilaboratorium Teknik Mesin Universitas Lampung.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan dari proposal 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 proposal ini.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA berisikan tentang teori yang berhubungan. Tinjauan pustaka ini berisikan kajian telaah dan kajian teori atau unsur teori atau hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan penggunaan PCM parafin padat sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.

BAB III : METODOLOGI 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 di lakukan pembahasan berdasarkan data data yang diperoleh.

BAB V : KESIMPULAN 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 bersal dari jurnal nasional maupun internasional, buku teks, dan laman dari lembaga yang berkredibel.

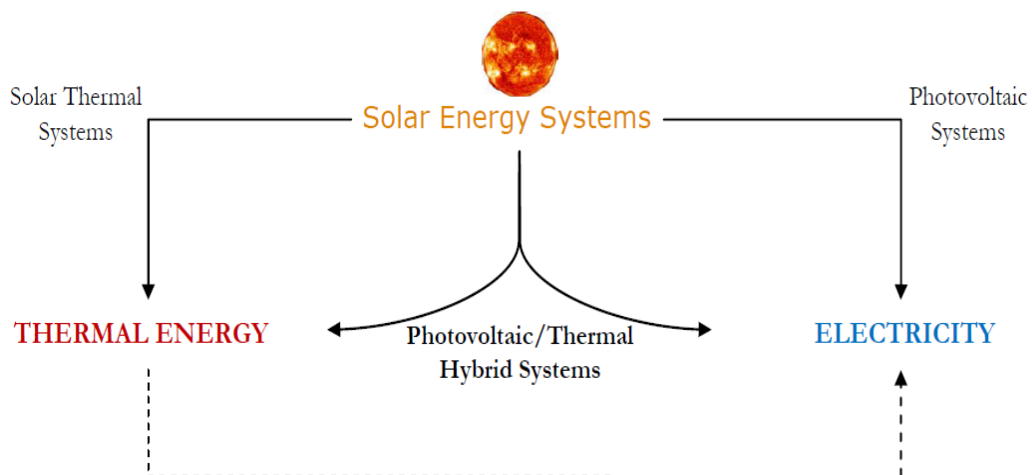
LAMPIRAN berisikan data atau keterangan lain yang berfungsi untuk melengkapi urian yang telah disajikan dalam bagian utama laporan. Lampiran juga berisi dokumentasi proses penelitian sebagai penunjang laporan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Panas Matahari

Indonesia adalah negara yang memiliki banyak sumber daya energi untuk di jadikan sebagai energi alternatif terbaru khususnya energi sinar matahari. Letak Indonesia yang berada pada garis khatulistiwa memungkinkan wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10-12 jam dalam sehari dan tentunya memiliki potensi yang sangat besar dalam pemanfaatan energi yang dihasilkan oleh cahaya matahari. Namun hingga hari ini, Indonesia baru dapat memanfaatkan energi surya sekitar 10 MWp. Padahal, di negara tropis yang memiliki luas seperti Indonesia, dapat menghasilkan energi surya pada kisaran 112.000 GWp. Hal ini yang seharusnya menjadi salah satu fokus utama pemerintah untuk memaksimalkan peluang ini. (EPA. 2013).

Tak hanya sebatas transisi energi, cahaya matahari pun dapat digunakan sebagai pemanas air alami. Namun penggunaan panel surya masih saja menyebabkan polusi tanah, karena hasil pembuangan sampah panel surya yang sudah tidak berfungsi dan menjadi limbah. Maka dari itu, perlu sebuah inovasi yang dapat meminimalisir persoalan tersebut. (Matthieu C. 2014).



Gambar 2.1 Sistem energi matahari

2.2 Solar Water Heater (Pemanas Air Tenaga Surya)

Pemanas air sistem thermosifon merupakan salah satu dari sistem pemanas air tenaga surya atau tenaga matahari. Pemanas air ini menggunakan sinar matahari sebagai sumber panas, ini berbeda dengan pemanas air elektrik yang memerlukan tenaga listrik sebagai sumber energi panas. Dibandingkan dengan pemanas air elektrik, pemanas air tenaga matahari jauh lebih sederhana dan lebih efisien. Karena pemanas air tenaga surya hanya memerlukan panas matahari yang cukup untuk membangkitkan panas yang digunakan untuk memanaskan air di dalam kolektor. Namun yang menjadi kelemahan pemanas elektrik ini adalah pemanas air elektrik ini adalah apabila beroperasi di daerah yang belum terjangkau listrik. Pemanas air tenaga surya bekerja untuk memanaskan air melalui pemanas pada kolektor. Pipa-pipa kolektor akan dipanasi oleh sinar matahari yang akan menyebabkan air yang berada di dalam kolektor akan menjadi ikut terpanasi. Ketika air di dalam kolektor terkena panas, air akan menjadi memuai dan air akan menjadi lebih ringan dari pada air dingin yang ada di tangki penyimpanan yang terletak di atas kolektor. Dalam hal ini sistem kerja memanfaatkan gaya grafitasi yang akan mendorong air dingin mengalir turun menuju ke kolektor. Karena adanya dorongan air dingin ke kolektor menyebabkan air panas akan ikut terdorong mengalir keluar dari kolektor pemanas menuju ke tangki penyimpanan air panas yang terletak lebih tinggi dari tangki penyimpanan air dingin. Demikian siklus

ini bekerja, air dingin akan terpanasi oleh kolektor menjadikan lebih ringan dan akan terdorong ke atas menuju tangki penyimpan air panas. Siklus ini akan terus bekerja sehingga seluruh air akan terpanasi dengan suhu secara merata.



Gambar 2.2 Pemanas air tenaga surya

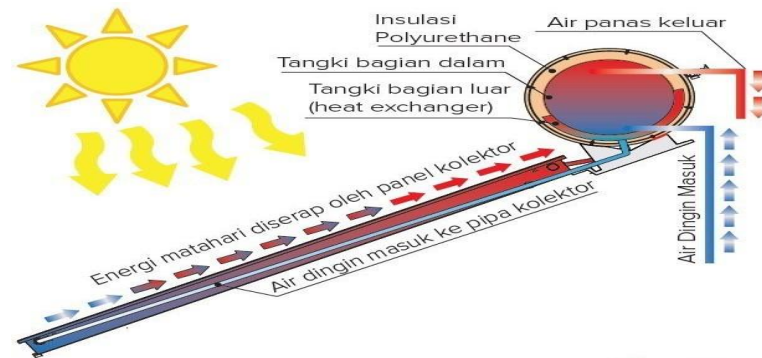
Berdasarkan sistem cara kerja yang dipakai, pemanas air tenaga surya ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Pemanas air tenaga surya sistem pasif
2. Pemanas air tenaga surya sistem aktif

2.2.1. Prinsip Kerja Pemanas Air Tenaga Surya

Prinsip kerja pemanas air tenaga surya ini didasari prinsip mekanika fluida dan peralatan-peralatan elemen perancangan peralatan konversi energi. Perencanaan *solar water heater system* mencakup prinsip-prinsip perpindahan panas radiasi, konveksi, maupun konduksi. Energi radiasi dari sinar matahari akan ditangkap oleh kolektor, panas mengalir secara konduktif sepanjang pelat penyerap dan melalui dinding saluran. Dari pelat penyerap panas kemudian dipindahkan ke fluida dalam saluran

melalui cara konveksi. Agar panas tidak cepat hilang maka isolasi harus benar-benar baik.



Gambar 2.3 Cara kerja pemanas air tenaga surya

Sebagai Gambaran mengenai perpindahan panas dalam sebuah alat pemanas air tenaga surya, dapat terjadi melalui konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan kalor yang melalui media padat. Panas mengalir dari temperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Perpindahan kalor konveksi adalah perpindahan energi dalam bentuk kalor antara suatu permukaan dan fluida yang berada di atasnya yang disebabkan adanya gerakan molekul secara acak, atau adanya gerakan fluida itu sendiri Radiasi yaitu proses perpindahan panas tanpa membutuhkan suatu zat perantara. Ada beberapa jenis radiasi elektromagnetic, radiasi termal adalah salah satu diantaranya. Dalam radiasi termal ada radiasi surya. Radiasi ini akan merambat dengan kecepatan cahaya 3×10^{10} m/s. Kecepatan ini sama dengan perkalian panjang gelombang dengan frekuensi radiasi.

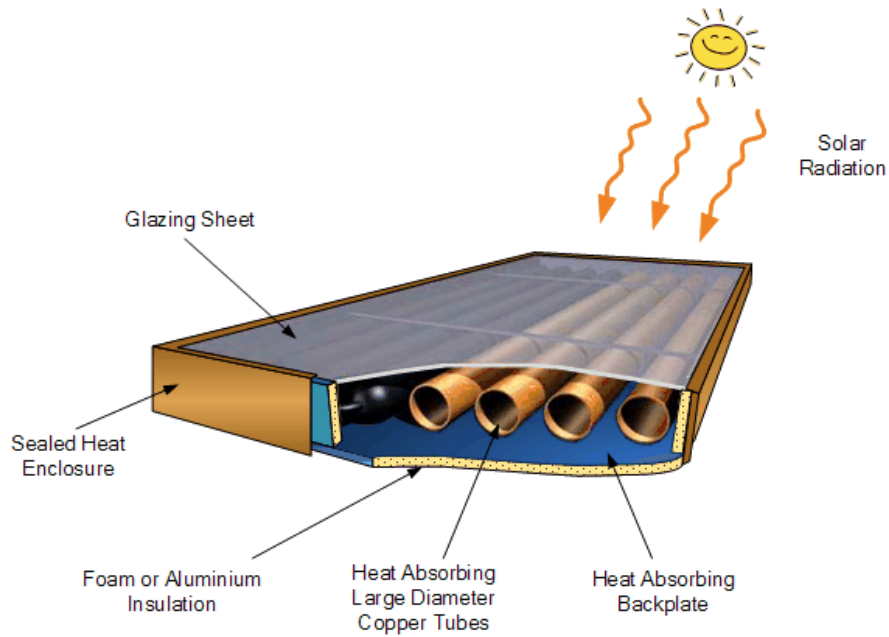
2.2.2. Kolektor Surya

Kolektor surya adalah alat penukar panas yang berfungsi menyerap energi matahari dan mengubahnya menjadi energi panas. Serta kolektor ini

merupakan komponen utama pada alat pengering tenaga surya (Duffie. 2013). Unjuk kerja dari kolektor surya sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat fisik absorber, disamping itu unjuk kerja termal kolektor tersebut juga dipengaruhi oleh jenis/tipe kolektor, konfigurasi saluran udara, transmisiivitas penutup atas kolektor, kecepatan udara dan dimensi kolektor. Komponen dasar dari kolektor pelat datar pemanas udara ada dua, yaitu : permukaan penyerap (*absorber*) yang menerima radiasi surya, dan saluran udara yang salah satu sisinya dibatasi oleh *absorber* (Sumarsono, 1998).

Pada dasarnya ada dua jenis kolektor surya; pertama jenis *non-concentrating collector* (kolektor surya tidak terkonsentrasi) atau *stasioner* yang memiliki wilayah yang sama dalam menerima dan menyerap radiasi matahari, dan jenis yang ke-dua yaitu *concentrating collector* (kolektor surya terkonsentrasi) merupakan kolektor surya yang cocok untuk aplikasi pada temperatur yang tinggi, dimana radiasi matahari yang diterima difokuskan pada satu titik. Sehingga pada titik tersebut akan menghasilkan temperatur yang tinggi. Kolektor surya juga dapat dibedakan berdasarkan jenis fluida perpindahan panas yang digunakan seperti; air, cairan yang tidak beku, udara, atau minyak (Kalogirou, 2003).

Kolektor surya dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari sebagai sumber energi utama. Ketika cahaya matahari menimpa pelat penyerap pada kolektor surya, sebagian cahaya akan dipantulkan kembali ke lingkungan, sedangkan sebagian besarnya akan diserap dan dikonversi menjadi energi panas, lalu panas tersebut dipindahkan kepada fluida yang bersirkulasi di dalam kolektor surya untuk kemudian dimanfaatkan guna berbagai aplikasi (Duffie. 2013)



Gambar 2.4 Contoh bentuk dan komponen kolektor surya

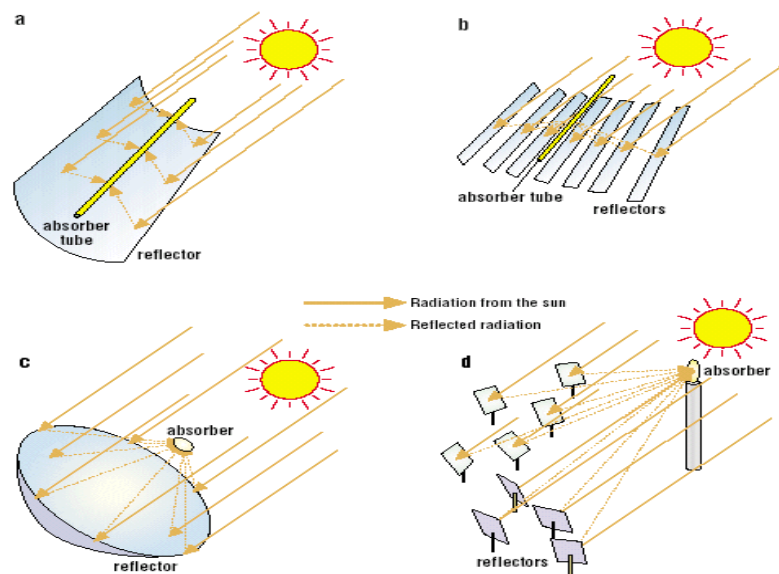
Kolektor surya yang pada umumnya memiliki komponen-komponen utama, yaitu:

1. Penutup transparan/ *cover/ glazing sheet* berfungsi untuk mengurangi rugi panas secara konveksi menuju lingkungan.
2. *Absorber* berfungsi untuk menyerap panas dari radiasi cahaya matahari.
3. Kanal berfungsi sebagai saluran transmisi fluida kerja.
4. *Isolator* berfungsi mengurangi kehilangan panas secara konduksi dari absorber menuju lingkungan.
5. *Frame* berfungsi sebagai rangka pembentuk dan penahan beban kolektor.

Jenis dan bentuk kolektor surya ada bermacam-macam diantaranya kolektor surya terkonsentrasi, kolektor surya tabung terevakuasi, dan kolektor surya plat datar.

2.2.2.1. Kolektor Surya Terkonsentrasi

Kolektor jenis ini dapat menghasilkan temperatur fluida 100° – 400°C . Karena kolektor ini mampu memfokuskan energi radiasi cahaya matahari yang diterima pada sebuah *receiver*, sehingga dapat meningkatkan kuantitas energi panas yang diserap oleh *absorber*. Hal ini disebabkan karena komponen konsentrator terbuat dari material yang mempunyai transmisivitas tinggi.



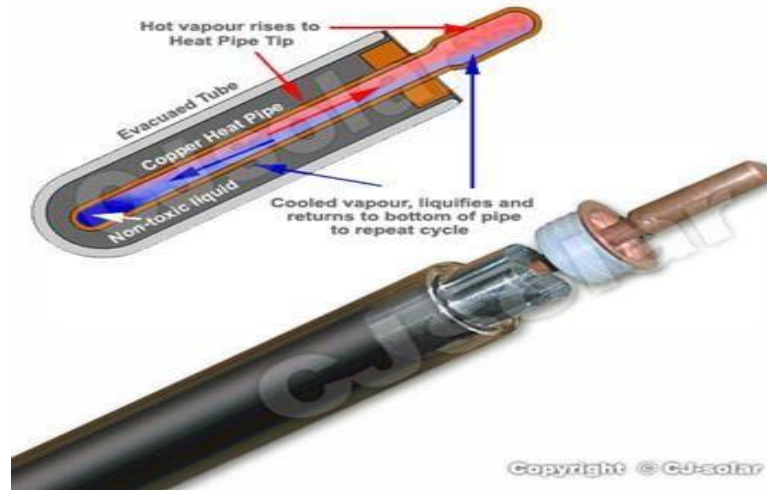
Gambar 2.5. Kolektor surya terkonsentrasi (a) tipe *parabolic*, (b) tipe *linier fresnell*, (c) tipe *disk parabolic*, (d) tipe sistem penerima pusat dengan banyak reflector

2.2.4.2 Kolektor Surya Tabung Terevakuasi

Kolektor ini adalah susunan dari tabung-tabung kaca yang terevakuasi. Setiap tabung kaca terdiri dari bagian yang disebut plat penyerap tipis yang melekat pada pipa di dalam tabungnya.

Keadaan vakum didalam tabung kaca mencegah kehilangan panas dan temperatur air yang dapat dihasilkan oleh kolektor ini diatas 100°C . Air panas yang dihasilkan dapat digunakan untuk proses

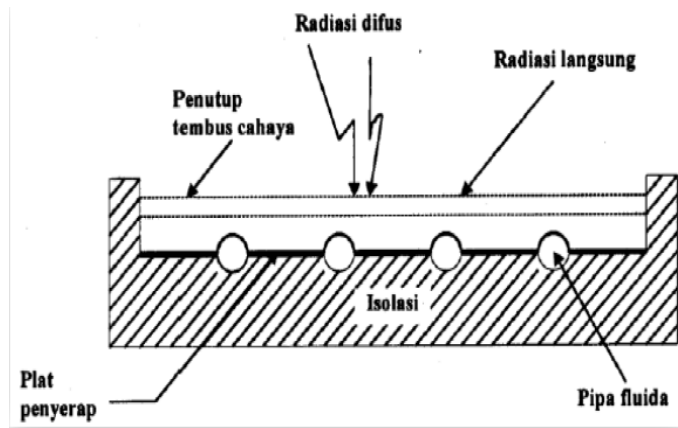
industri. Skema kolektor surya tabung terevakuasi dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6. :



Gambar 2.6. Skema kolektor tabung terevakuasi

2.2.4.3 Kolektor Surya Pelat datar

Kolektor surya pelat datar adalah sebuah kolektor surya berbentuk persegi yang dilapisi kaca hitam transaran dengan kemiringan tertentu yang berfungsi untuk menangkap radiasi cahaya matahari, seperti terlihat pada Gambar 2.8. Proses penggunaannya lebih mudah dan sederhana dibanding dengan kolektor surya jenis yang lain. Komponen-komponen sebuah kolektor surya pelat datar terdiri dari permukaan “hitam” sebagai penyerap energi radiasi matahari yang kemudian dipindahkan ke fluida. Penutup tembus cahaya (kaca) berfungsi mengurangi efek radiasi dan konveksi yang hilang ke atmosfer.



Gambar 2.7. Skema kolektor surya pelat datar.

Prinsip kerja pada kolektor surya pelat datar ialah fluida yang masuk kedalam kolektor melalui pipa distribusi akan mendapatkan panas dengan baik melalui radiasi langsung matahari. Hal ini disebabkan energi radiasi matahari didalam kolektor yang dibatasi kaca bening tembus cahaya, sehingga radiasi matahari menjadi maksimal karena radiasi matahari yang dipantulkan ke lingkungan menjadi lebih sedikit. Panas lebih banyak diserap kedalam pipa-pipa distribusi. Terjadinya perpindahan panas terhadap pipa-pipa distribusi menyebabkan suhu fluida di dalam pipa tersebut akan secara langsung bertambah, hal tersebut mengakibatkan adanya perbedaan masa jenis. Fluida yang bersuhu lebih tinggi memiliki massa jenis yang lebih kecil, sehingga cenderung akan mengalir kearah ke atas. Sebaliknya fluida yang bersuhu lebih rendah memiliki massa jenis lebih besar dan cenderung akan bergerak ke bawah, sehingga terjadi konveksi secara alami. Komponen penunjang yang terdapat pada kolektor pelat datar antara lain; *transparent cover*, *absorber*, insulasi, dan kerangka/ *frame*.

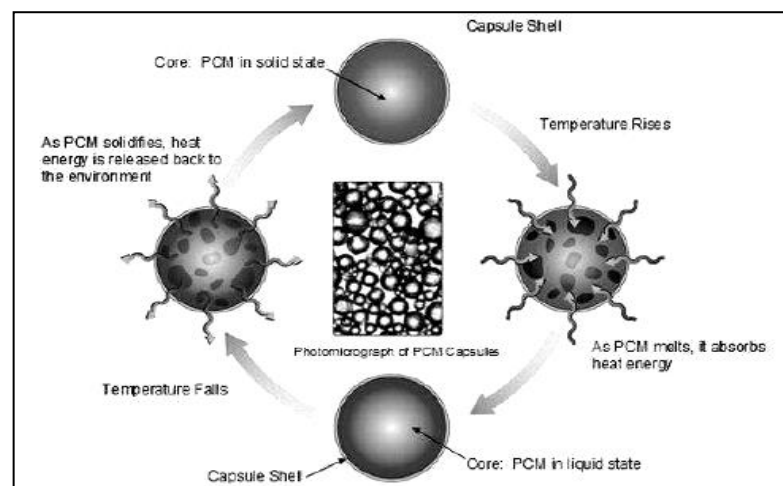
Keuntungan utama dari sebuah kolektor surya pelat datar adalah bahwa memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui sorotan langsung secara merata, tidak memerlukan tracking matahari, disamping itu juga desainnya lebih sederhana, sedikit memerlukan perawatan ,dan biaya pembuatan yang murah. Pada

umumnya kolektor jenis ini digunakan untuk memanaskan ruangan dalam rumah, pengkondisian udara, dan proses-proses pemanasan dalam industri (Duffie, 2013).

2.3 Material Perubah Fase / *Phase Change Materials (PCM)*

Material perubah fase adalah bahan penyimpan panas (laten). Material perubah fase atau *phase change material (PCM)* merupakan sebuah material yang mampu melakukan perubahan fase ketika pada suhu tertentu. *Phase change material* mengalami perubahan fase ketika menyerap dan melepaskan panas (kalor laten) namun struktur atau susunan kimianya tidak mengalami perubahan (Sumiati dkk: 2013).

Perubahan fase 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 fase 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 melibatkan energi panas, baik panas itu dilepas atau di terima oleh zat itu sendiri. Prinsip kerja PCM tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.8. berikut.



Gambar 2.8. Prinsip kerja PCM

A. Sharma *et al* (2009), mengungkapkan bahwa perpindahan energi panas terjadi saat bahan berubah bentuk dari padat ke cair atau cair ke padat. Hal ini dinamakan perubahan bentuk atau perubahan fase. Pada awalnya perubahan 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.

A. Sharma *et al* (2009) pada artikelnya dijelaskan bahwa, material perubah fase dikategorikan kedalam tiga bagian yaitu organik, anorganik, dan autentik. 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 autentik yaitu campuran material PCM dari dua atau lebih material organik dengan organik, organik dengan anorganik, atau anorganik dengan anorganik.

A. Pasupathy *et al* (2008) mengatakan hal yang sama mengenai klasifikasi PCM yaitu mengategorikannya kedalam tiga kelompok dan mengGambarkannya kedalam Diagram. Kelompok tersebut yaitu organik, anorganik, dan kombinasi. Klasifikasi PCM dapat dilihat pada Diagram 2.1 dibawah ini:

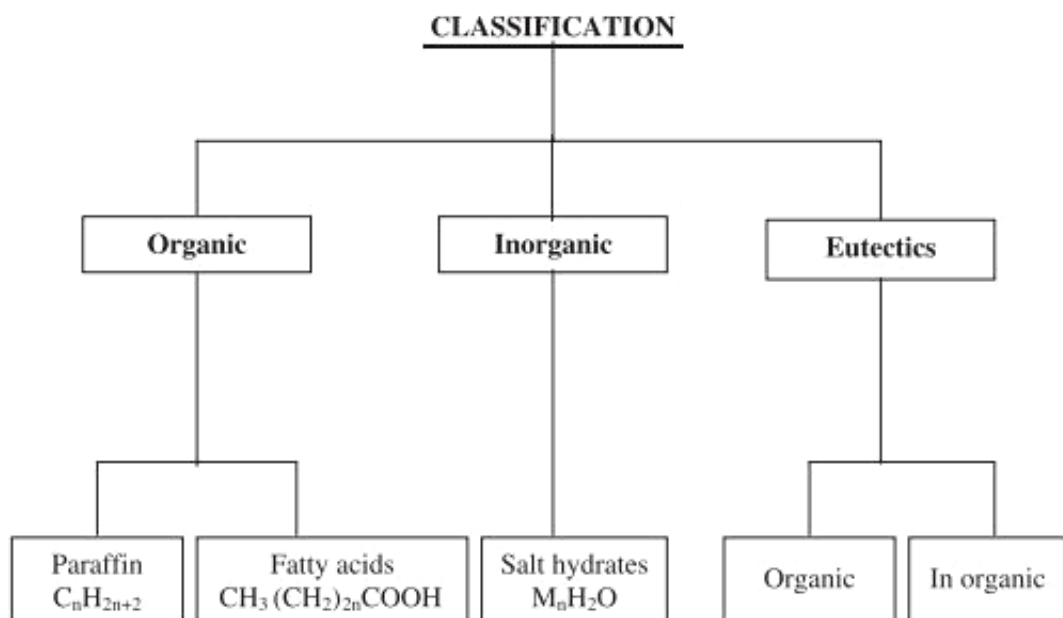


Diagram. 2.1. Klasifikasi PCM

2.3.1. PCM Organik

PCM organik merupakan material perubah fase yang mempunyai rentang suhu rendah. PCM organik selain harganya mahal, material ini mempunyai rata-rata panas laten per satuan volume serta densitas yang rendah. PCM organik sebagian besar mudah terbakar di alam. Hingga saat ini PCM organik dapat dibedakan kedalam dua golongan yaitu sebagai parafin dan non parafin.

2.3.1.1 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 $(\text{CH}_2)_n$ 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 (A Sharma *et al* :2009). Beberapa titik leleh dan panas peleburan laten parafin dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 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

2.3.1.2 Non Parafin

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

Kelompok ini seringkali dibedakan lagi menjadi kelompok asam lemak dan organik nonparafin lain. Bahan-bahan ini umumnya mudah menyala dan tidak boleh dibiarkan pada suhu tinggi, dekat api, dan bahan pengoksidasi. Gambaran dari PCM non parafin dapat dilihat pada Tabel 2.2, sedangkan PCM asam lemak dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Titik leleh dan panas laten PCM non parafin
(Sumber: Sharma dkk, 2009)

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 palmitat	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

Tabel 2.3. Titik leleh dan panas laten PCM Asam Lemak
(Sumber: Sharma dkk, 2009)

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
Acetic acid	16.7	184
Poly ethylene glycol	20 - 25	146
Capric acid	36	152
Eladic acid	47	218

Lauric acid	49	178
Pentadecanoic acid	52.5	178
Tristearin	56	190
Mirystic acid	58	199
Palmatic acid	55	163
Stearic acid	69.4	199
Aceramiide	81	141

2.3.2. PCM Anorganik

PCM anorganik tidak terlalu dingin dan panas peleburan tidak akan berkurang selama perputaran. PCM anorganik diklasifikasi-kan sebagai hidrat garam (*salt hydrate*) dan logam (*metallic*).

2.3.2.1. Hidrat Garam

Hidrat garam dapat dilihat sebagai campuran garam anorganik dengan air membentuk padatan kristal tertentu dari formula umum $AB.nH_2O$. Perubahan 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 ke dalam hidrat yang lebih rendah dan air.

2.3.2.2. Logam (*Metallic*)

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

2.3.3. PCM Kombinasi

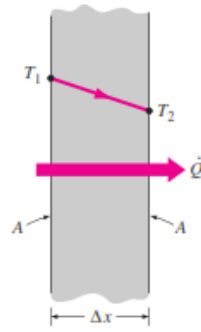
PCM kombinasi adalah sebuah komposisi dengan lelehan terendah dari dua komponen atau lebih, masing-masing meleleh dan membeku membentuk campuran dari komponen-komponen kristal selama proses kristalisasi (George dalam A. sharma *et al* 2019). *PCM* jenis ini hampir selalu meleleh dan membeku tanpa pemisahan 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.

2.4. Perpindahan Panas

Perpindahan panas terjadi akibat perbedaan suhu, panas akan mengalir dari tempat suhu yang lebih tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah. Perpindahan panas pada sebuah pelat kolektor surya ada tiga metode, yaitu; perpindahan panas secara konduksi sepanjang pelat penyerap/ *flat absorber* dan melalui dinding. Kemudian perpindahan panas dengan cara konveksi dimana panas berpindah ke fluida dalam saluran pipa, kemudian perpindahan secara radiasi dari pelat penyerap/ *flat absorber* ke pelat penutup.

2.4.1. Perpindahan Panas Secara Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas mengalir dari tempat yang temperaturnya lebih tinggi ke tempat yang temperaturnya lebih rendah, dengan media penghantar tetap. media dapat berupa: padatan, cairan, dan gas. benda yang bertemperatur tinggi memiliki molekul energi yang lebih tinggi juga. Pada proses perpindahan panas, molekul yang memiliki energi lebih tinggi akan menabrak molekul yang memiliki energi lebih rendah hal ini terus terjadi sehingga benda tersebut mengalami pemanasan dan terus berlanjut hingga temperatur yang dicapai, seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Perpindahan panas Konduksi

Laju aliran secara konduksi dapat dijabarkan dalam suatu persamaan yang dinyatakan dengan hukum Fourier (J. P Holman., 1997), yaitu:

$$q_{kond} = -kA(dT/dx) \quad (2.1)$$

Dimana :

q_{kond} = Panas konduksi, (W)

k = Konduktivitas termal, (W/m.K)

A = Luas penampang tegak lurus pada aliran panas, (m²)

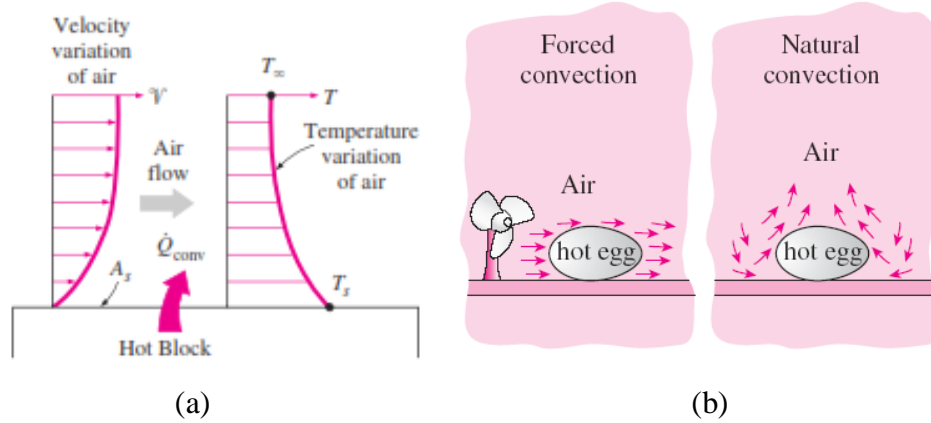
dT/dx = Gradien temperatur dalam arah aliran panas

2.4.2. Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah suatu proses perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cair/gas) seperti terlihat pada Gambar 2.10.a. Panas secara konveksi menurut cara pergerakannya dibagi dua bagian, seperti pada Gambar 2.10.b yaitu :

1. Konveksi paksa (*forced convection*) adalah perpindahan panas aliran gas atau cairan yang disebabkan adanya pompa atau daya untuk mengalirkan panas, hal ini digunakan untuk mempercepat proses perpindahan panas.

2. Konveksi alamiah (*natural convection*) adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada pompa atau daya yang mengalirkan panas,



Gambar. 2.10.a : Perpindahan panas konveksi dari permukaan panas ke udara sekitar,
 .b : Proses perpindahan panas konveksi paksa dan konveksi alami

Pada umumnya, laju perpindahan panas konveksi dengan suatu fluida dapat dirumuskan dengan persamaan berikut (J. P Holman., 1997),

$$q_c = hA(T_w - T_f) \quad (2.2)$$

Dimana :

- q_c = Laju perpindahan panas konveksi, (kJ/s)
- A = Luas permukaan perpindahan panas, (m^2)
- h = Koefesien perpindahan panas konveksi, ($W/m^2.K$)
- T_f = Temperatur fluida, (K)
- T_w = Temperatur dinding, (K)

Untuk mencari koefisien perpindahan panas konveksi yaitu:

$$h = Nu (k/D) \quad (2.3)$$

dimana,

$Nu = f (Re Pr)$ dengan identifikasi jenis/mode perpindahan panas yang paling cocok, misal perpindahan panas konveksi paksa, aliran didalam pipa silindris, aliran bergolak(turbulen) maka,

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.33} (\mu/\mu_w)^{0.14} \quad (2.4)$$

$$Re = (Dv\rho)/\mu \quad (2.5)$$

$$Pr = (c_p \mu)/k \quad (2.6)$$

Untuk mencari k dan yang lainnya menggunakan *A-9 Properties of Saturated water*.

2.4.3. Perpindahan Panas Secara Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektro-magnetik, tanpa memerlukan media perantara, oleh karenanya proses perpindahan panas radiasi dapat mengalir dari benda bersuhu tinggi menuju ke suatu benda yang bersuhu lebih rendah pada ruangan terpisah, seperti pada Gambar 2.11. Laju pancaran radiasi pada suatu permukaan dapat digunakan persamaan sebagai berikut (J. P Holman., 1997):

$$q_r = \varepsilon\sigma A(T^4) \quad (2.7)$$

Dimana :

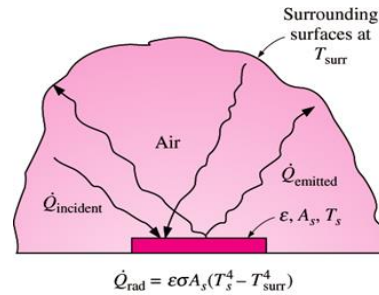
q_r = Laju perpindahan kalor radiasi, (W)

ε = Emisivitas benda,

σ = Konstanta Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}^4)$

T^4 = Perpindahan temperatur, (K)

A = Luas permukaan bidang, (m^2)



Gambar 2.11. Perpindahan panas radiasi antara sebuah permukaan dan permukaan sekitar

2.5. Alat Penukar Panas / *Heat Exchangers*

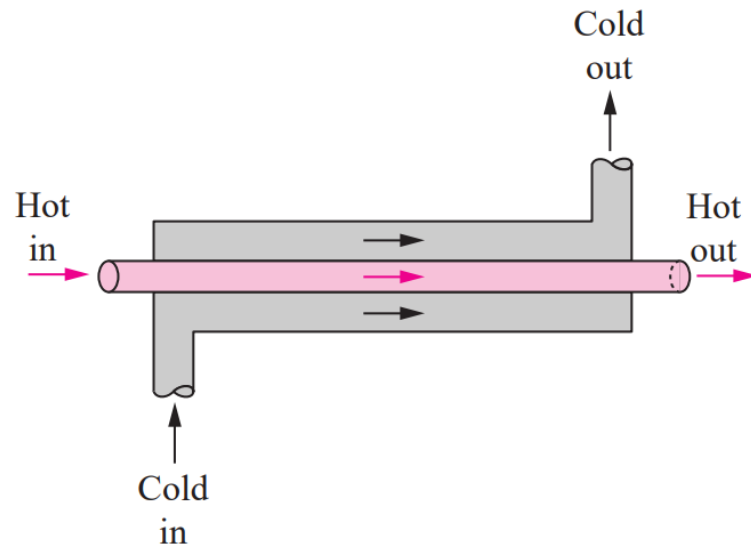
Heat exchangers secara umum adalah salah satu komponen yang dipasang pada sistem industri atau khususnya pada sistem tenaga uap untuk menukar atau memindahkan panas dari suatu fluida ke fluida yang lain dengan tujuan mendapatkan peningkatan nilai ekonomis. HE tidak saja berfungsi pada aplikasi sistem pemanasan tetapi juga untuk sistem pendinginan seperti pada *refrigerator* dan AC.

2.5.1 *Heat Exchangers* menurut arah aliran

Menurut arah aliran fluida HE dibedakan menjadi tiga, yaitu :

2.5.1.1. *Linear Flow* (aliran searah)

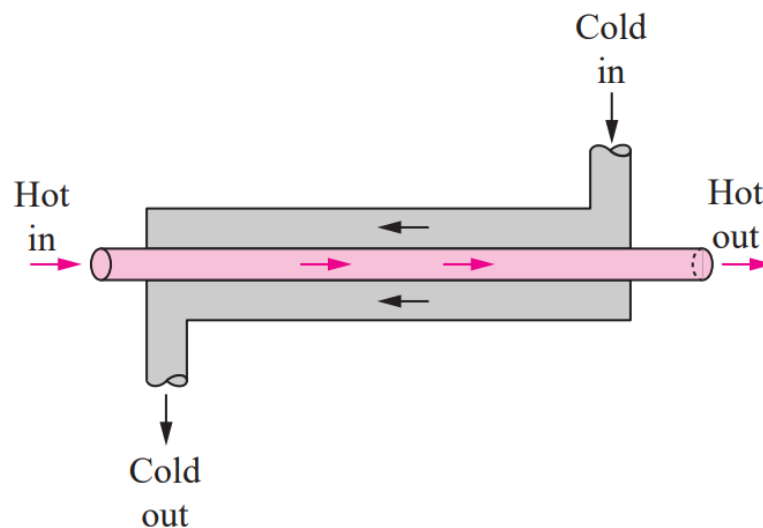
HE dengan tipe aliran searah sering disebut dengan istilah *Pararel Flow Heat Exchanger* (PF-HE) atau *Linear Flow Heat Exchanger* (LF-HE). Pada HE tipe ini fluida panas dan fluida dingin datang atau masuk menuju HE lewat pada sisi yang sama dan keluar pada sisi yang sama pula.



Gambar 2.12. Paralel Flow

2.5.1.2. Counter Flow (aliran berlawanan)

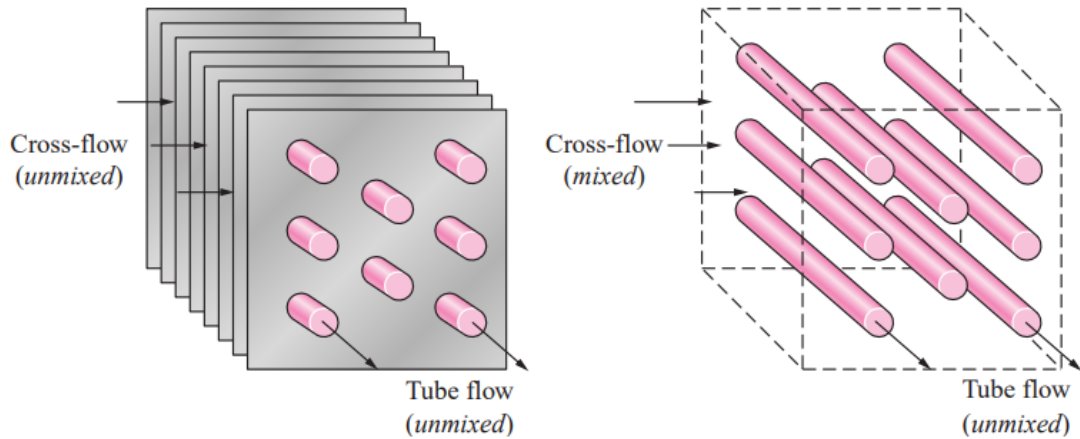
HE tipe ini memiliki aliran berlawanan dimana fluida panas datang menuju HE lewat pada salah satu sisi sedang fluida dingin lewat pada sisi lainnya.



Gambar 2.13. Counter Flow

2.5.1.3. Cross Flow (CF)

Pada tipe Cross Flow aliran fluida melintang tegak lurus terhadap aliran fluida yang lainnya.



Gambar 2.14. Cross Flow

Untuk mendapatkan efisiensi yang lebih baik HE didesain dengan memperbesar luasan dinding dimana terjadi kontak perpindahan panas akan tetapi perlu dipertimbangkan agar aliran fluida memiliki hambatan yang tidak begitu besar. Pengaturan temperatur permukaan pada HE memiliki banyak variasi akan tetapi temperatur rata-rata dapat dihitung sebagai contoh menggunakan prinsip *log mean temperature difference* (LMTD) atau bisa pula menggunakan *normal temperature unit* (NTU).

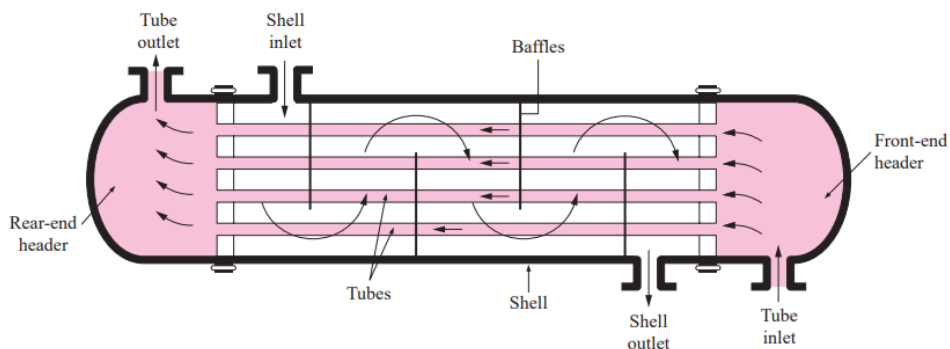
2.5.2. Tipe Heat Exchangers (HE) Menurut Model

Tipe *heat exchangers* umumnya ada 2 tipe yaitu *heat exchangers shell and tube* dan *palte heat exchangers*.

2.5.2.1. Heat Exchangers Shell and Tube

HE tipe *Shell and Tube* terdiri dari multi pipa yang dilewatkan pada aliran fluida. Satu set pipa berisi fluida yang akan dipanaskan atau

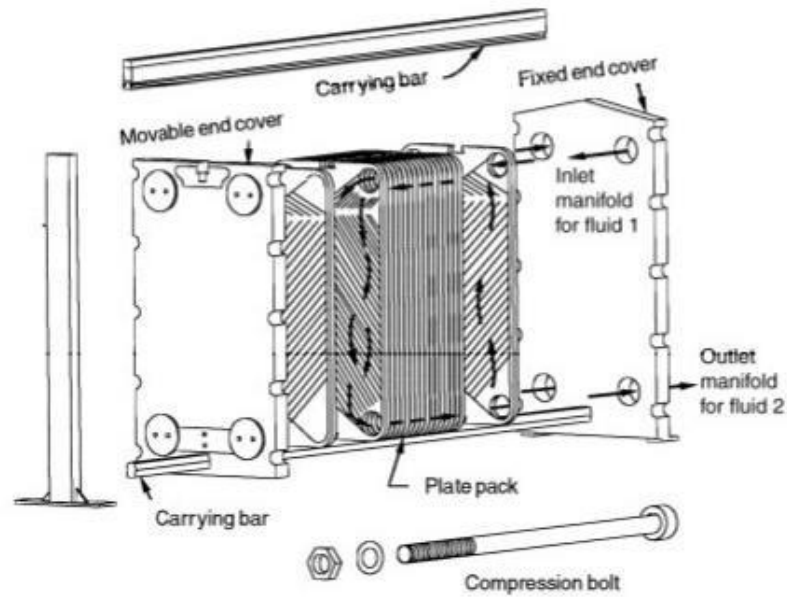
didinginkan sedangkan fluida yang lain berfungsi sebaliknya mengalir melalui sisi pipa tersebut. Set pipa yang disebutkan lazim disebut pipa bundle dimana dibuat dengan bahan berkonduktifitas panas yang tinggi sehingga HE *Shell and Tube* mampu beroperasi pada tekanan dan temperatur yang tinggi. Kedua ujung pipa bundle dihubungkan menjadi satu oleh plenum atau terkadang dinamakan kotak air (*water boxes*). Bila pipa bundle dibengkokkan membentuk konfigurasi huruf U maka HE semacam ini lebih lanjut disebut HE *U-Shell and Tube*.



Gambar 2.15. sistematik HE tipe *Shell and Tube*

2.5.2.2 *Plate heat exchangers*

Plate Heat Exchanger adalah suatu media pertukaran panas yang terdiri dari Pelat (*plate*) dan Rangka (*frame*). Dalam *Plate Heat Exchanger*, pelat disusun dengan susunan tertentu, sehingga terbentuk dua jalur yang disebut dengan *Hot Side* dan *Cold Side*. *Hot Side* dialiri dengan cairan dengan suhu relatif lebih panas dan *Cold Side* dialiri dengan cairan dengan suhu relative lebih dingin.



Gambar 2.16. *Heat Exchanger* Plat Tipe Gasket

Heat exchanger tipe ini menggunakan plat tipis sebagai komponen utamanya. Plat yang digunakan dapat berbentuk polos ataupun bergelombang sesuai dengan desain yang dikembangkan. *Heat exchanger* jenis ini tidak cocok untuk digunakan pada tekanan fluida kerja yang tinggi, dan juga pada diferensial temperatur fluida yang tinggi pula.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian pemanfaatan parafin sebagai penyimpan energi termal pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar memerlukan tempat dan waktu penelitian. Tempat dan waktu pelaksanaan yang penulis tentukan yaitu

3.1.1. Tempat

Penelitian dan pengambilan data pemanfaatan parafin sebagai penyimpan energi termal pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar akan dilaksanakan di Laboratrium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.1.2. Waktu

Penelitian dan pengambilan data pemanfaatan parafin sebagai penyimpan energi termal pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar dilakukan pada bulan September 2021 sampai dengan Desember 2021 dengan rencana kegiatan seperti table 3.1. berikut

Tabel 3.1. Rencana Pelaksanaan Penelitian

Kegiatan	September				Oktober				November				Desember			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur	■	■	■												
2	Persiapan alat pengujian				■	■	■	■								
3	Pengujian								■	■	■	■				
4	Pembuatan laporan akhir												■	■	■	■

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian pemanfaatan parafin sebagai penyimpan energi termal pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar ini meliputi : kolektor surya pelat datar, solar simulator, pipa air paralon, alat penukar panas, termokopel data logger, water flow meter sensor, pompa air dan keran air. Sedangkan Bahan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini meliputi: air dan *Phase Change Material (PCM)* jenis parafin padat.

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

3.2.1.1. Kolektor Surya Pelat Datar

Kolektor yang digunakan ialah jenis pelat datar dengan ukuran 50 cm x 80 cm dan menggunakan pipa tembaga tipe ASTM B280 dengan arah aliran paralel, kemudian jarak antar diameter pipa ke pipa satunya sebesar 5 cm dengan diameter pipa 3/8 inchi. seperti pada Gambar 3.1.

Untuk panjang pipa tembaga tipe ASTM B280 yang digunakan dan volume air pada kolektor adalah:

$$\text{diameter pipa} \quad 3/8'' \quad = \quad 0,9525 \text{ cm.}$$

$$\text{Panjang pipa} = 10 \times 80 \quad = \quad 800 \text{ cm}$$

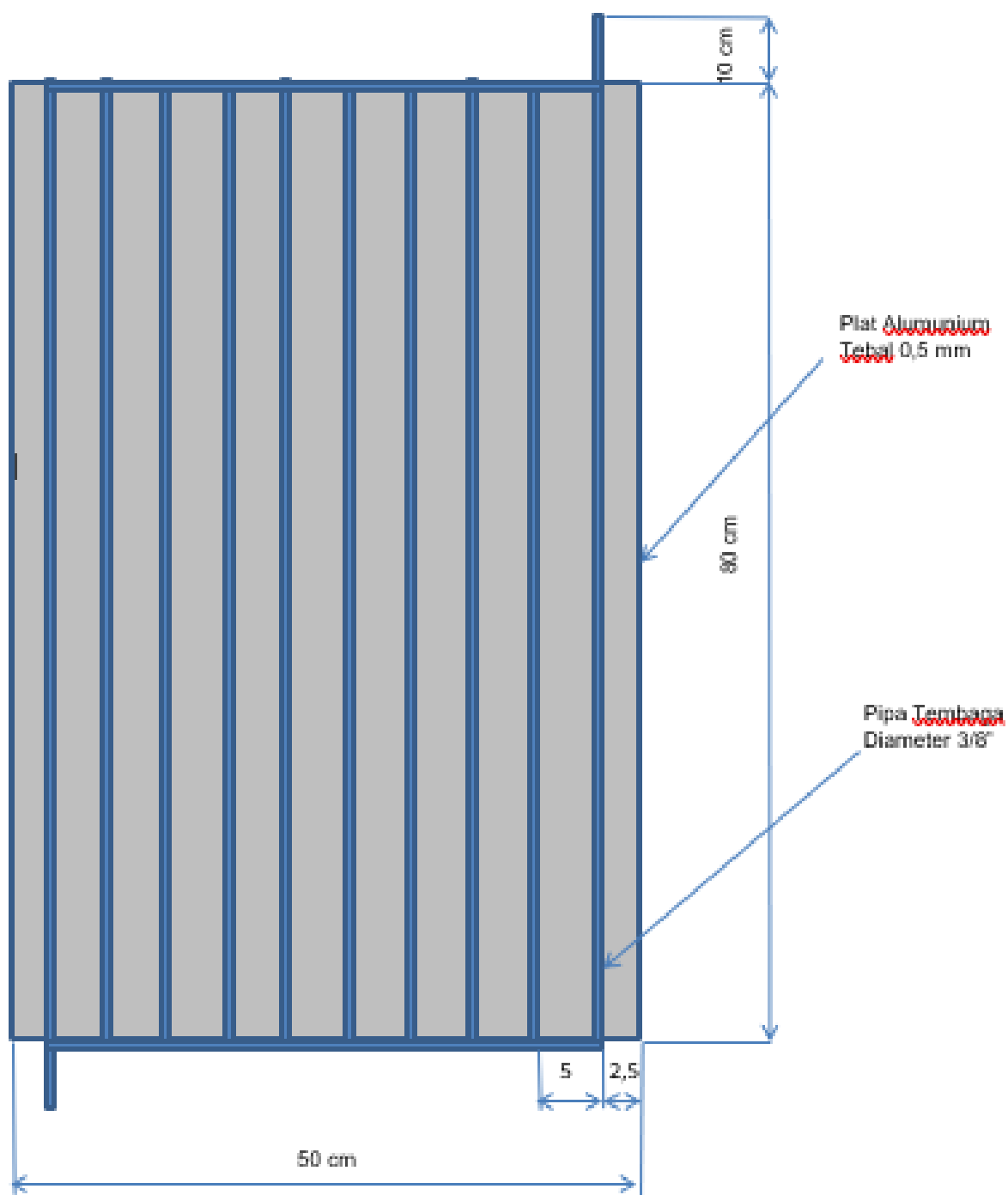
$$2 \times 45 \quad = \quad 90 \text{ cm}$$

$$\underline{2 \times 10} \quad = \quad \underline{20 \text{ cm}}$$

$$\text{Total panjang} \quad = \quad 910 \text{ cm}$$

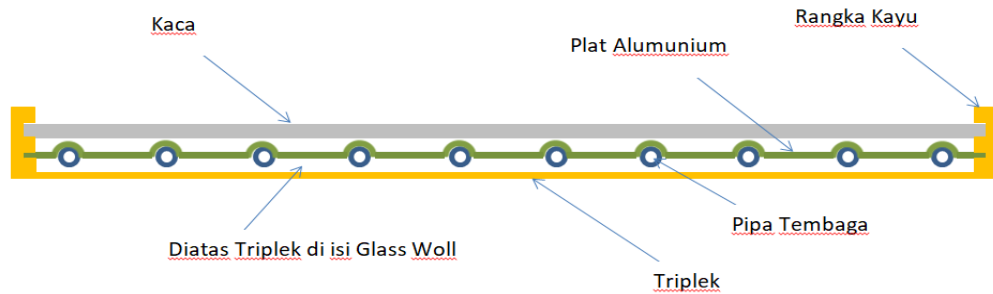
Volume air pada kolektor surya

$$\begin{aligned} V &= (\pi/4) \times D^2 \times L \\ &= (\pi/4) \times 0,9525^2 \times 910 \\ &= 648,427 \text{ cm}^3 \\ &= 0.648 \text{ liter air} \end{aligned}$$

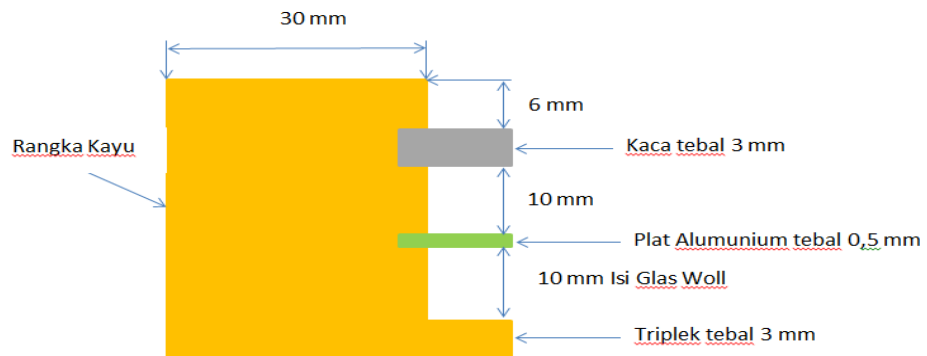


Gambar 3.1. Kolektor surya aliran paralel

Bentuk susunan pada kolektor surya terdiri atas kaca, plat aluminium, pipa tembaga, glass wool dan triplek serta dipasang pada dudukan kayu seperti pada gambar 3.2 berikut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.2. (a) Potongan kolektor surya, (b) Jarak plat dan kaca (c) Kolektor surya

3.2.1.2.Solar Simulator

Solar simulator merupakan alat pencahayaan dan radiasi yang mendekati pencahayaan dan radiasi matahari. Tujuan dari penggunaan alat ini adalah untuk menggantikan cahaya dan radiasi matahari pada saat pelaksanaan pengujian. Solar simulator menggunakan 12 buah lampu dengan formasi 3 x 4. Lampu simulator yang digunakan adalah Philips Halolite Floodlight - QVF135 lengkap dengan lampu halogen R7s daya 500 Watt.

Solar simulator terdapat saklar yang bisa menghidupkan lampu dengan variasi 8 lampu, 10 lampu dan 12 lampu. Pada saat diukur menggunakan solarimeter didapat radiasi rata-rata pada lampu 8 = 997,5 W/m² , pada lampu 10 = 1183W/m² , dan pada lampu 12 = 1393,8 W/m² , dan ini dijadikan variasi pada proses pengujian.



Gambar 3.3. Solar simulator

3.2.1.3.Pipa Air

Pipa air yang digunakan adalah pipa air paralon dengan diameter 3/4 inci, pipa di isolasi menggunakan alumunium foil foam dan di lakban. Panjang pipa yang digunakan untuk menghubungkan semua komponen adalah 6 meter. Jadi volume air yang ada pada pipa penghubung adalah:

$$\begin{aligned}V &= (\pi/4) \times D^2 \times L \\ &= (\pi/4) \times 1,905^2 \times 600 \\ &= 1.710,14 \text{ cm}^3 = 1,71 \text{ liter air}\end{aligned}$$

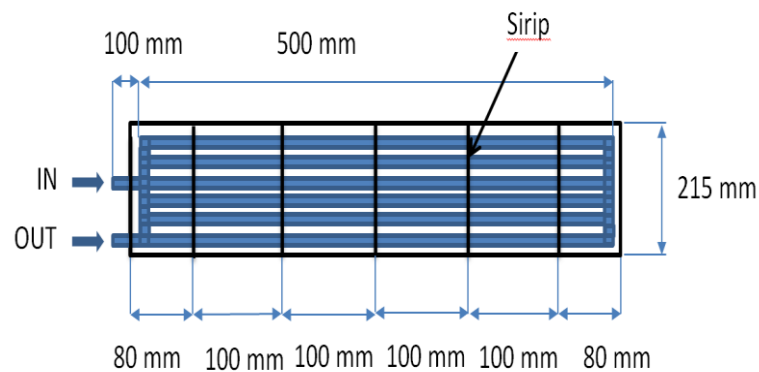


Gambar 3.4. Bentuk pipa paralon untuk air panas

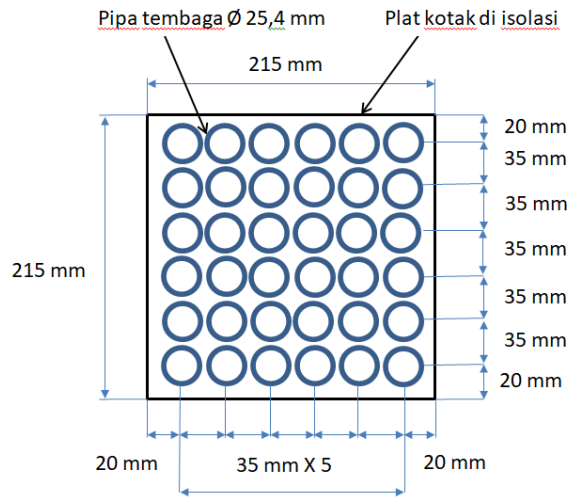
3.2.1.4. Alat Penukar Panas/Heat Exchangers (HE)

Alat penukar panas yang di gunakan adalah tipe shell and tube. Shell berbentuk plat kotak dan diisolasi dengan alumunium foil foam dan dilakban dan tube yang menggunakan bahan pipa tembaga tipe ASTM B280 dengan diameter 1 inci yang dirangkai secara seri. Panjang pipa yang dipakai 0.5 meter x 36 buah, rangakaian seperti gambar 3.5. Volume air yang ada pada alat penukar panas adalah:

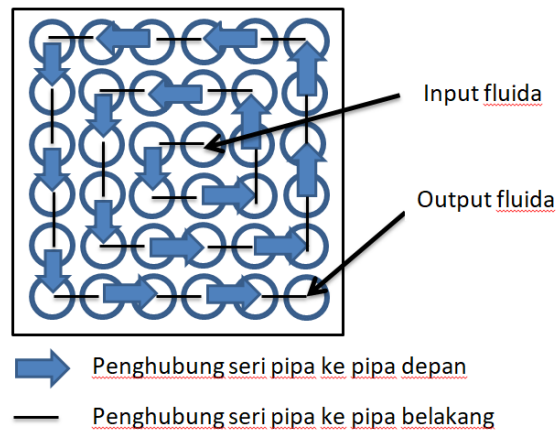
$$\begin{aligned}
 V &= (\pi/4) \times D^2 \times L \\
 &= (\pi/4) \times 2,54^2 \times 50 \times 36 \\
 &= 9.120,73462 \text{ cm}^3 \\
 &= 9,12 \text{ liter air}
 \end{aligned}$$



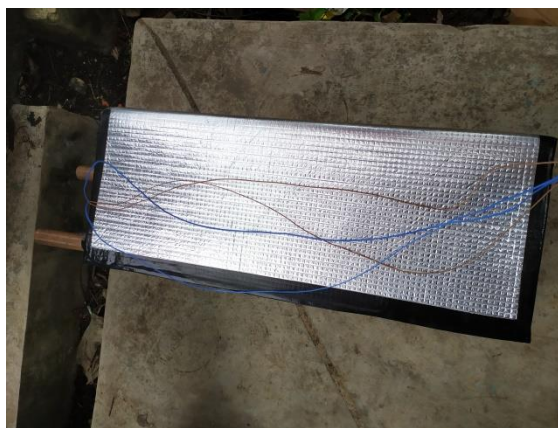
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.5. (a) Desain HE, (b) Potongan HE, (c) Pipa dirangkai seri, (d) Bentuk HE

3.2.1.5. Termometer Termokopel

Digunakan untuk mengukur: temperatur fluida masuk ke kolektor surya, temperatur fluida keluar dari kolektor surya, temperatur lingkungan, temperatur permukaan panel surya, temperatur fluida masuk ke alat penukar panas, temperatur keluar alat penukar panas secara bersamaan. Data direkam dalam data logger dan dapat disimpan dalam SD Card. Adapun bentuk termokopel seperti terlihat pada gambar 3.6 dan spesifikasinya tersaji pada tabel 3.2



Gambar. 3.6 Termometer termokopel

Tabel 3.2 Spesifikasi termokopel

Merk	LU BTM-4208SD
Fungsi	Mengukur suhu dari -50 s/d 1300 °C
Ketelitian	0.1 °Celcius
Record external	SD card
Maks input	Maksimal 12 saluran

3.2.1.6. Water flowmeter Sensor

Water flowmeter berfungsi mengukur debit fluida yang mengalir ke dalam kolektor surya, sehingga besar laju aliran massa fluida dapat diketahui. Satuan laju aliran massa yang digunakan dalam penelitian ini adalah liter per menit (lpm). Water flowmeter yang digunakan dalam pengujian seperti terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. *Water flow meter*

3.2.1.7. Pompa Air.

Pompa air berfungsi mensirkulasikan fluida ke dalam pipa kolektor surya dan selanjutnya mengalir ke alat penukar panas dan kembali lagi dipompakan ke pipa kolektor surya melalui pipa air panas. Pompa air yang digunakan adalah pompa air aquairium, seperti pada gambar 3.8 dengan spesifikasi seperti tersaji pada tabel 3.3



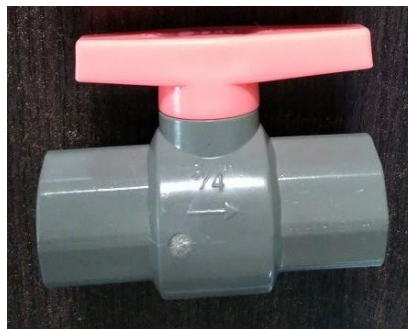
Gambar. 3.8. Pompa air

Tabel 3.3. Spesifikasi pompa air

Merk	Yamano WP 105
Daya	AC 60 Watt
Laju air maksimal	3000L/jam
Tinggi maksimal	3 m

3.2.1.8. Keran Air

Merupakan alat yang dipakai untuk mengeluarkan fluida dari sistem instalasi. Keran air berfungsi mengontrol jumlah fluida yang dikeluarkan seperti 2 lpm, 3 lpm, dan 4 lpm yang digunakan sebagai factor dalam penenilaian. penelitian ini menggunakan keran air sistem putar di dalamnya terdapat bola sebagai penutup seperti pada gambar 3.9. Untuk memutus, memperbesar dan memperkecil aliran fluida dengan cara memutar pegangannya.



Gambar 3.9 Keran air

3.2.1.9. Tabung Penyimpan Air Panas

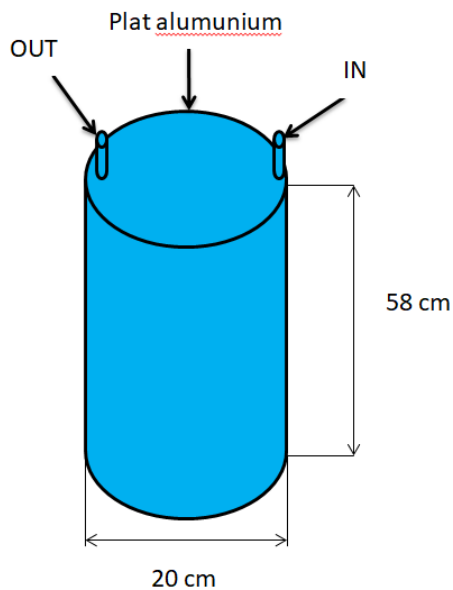
Tabung ini berfungsi untuk membandingkan dengan tabung alat penukar panas yang berisi PCM. Tabung terbuat dari bahan plat alumunium berbentuk silinder dengan diameter 20 cm diisolasi dengan alumunium foil foam dan di lakban dengan panjang tabung sebagai berikut:

Total air dalam sistem = 30 liter

Volume air pada kolektor, pipa air panas, HE, pompa air dan water flow meter = 0,648 + 1,71 + 9,12 + 0,3 (pada pompa air dan water flow meter) = 11,778 liter air

Volume air tersisa = 30 – 11,778 = 18,222 liter air = 18.222 cm³.

$$\begin{aligned} \text{Panjang tabung} &= \text{Volume air tersisa} / ((\pi/4) \times (D^2)) \\ &= 18.222 / ((\pi/4) \times (20^2)) \\ &= 58,0024275 \text{ cm} \\ &= 58 \text{ cm} \end{aligned}$$



Gambar 3.10. Tabung penyimpan air panas

3.2.1.10. Solarimeter

Solarimeter merupakan alat ukur jenis pyranometer untuk mengukur radiasi matahari langsung ataupun untuk mengukur radiasi dari *solar simulator*. Satuan dalam pengukuran radiasi menggunakan *solarimeter* yaitu W/m^2 .



Gambar 3. 11. *Solarimeter*

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi air dan PCM parafin:

3.2.2.1. Fluida Air

Air disirkulasikan oleh pompa ke dalam kolektor surya plat datar dengan laju aliran massa divariasikan pada kondisi steady kemudian mendapat panas dari solar simulator yang juga divariasikan. Spesifikasi air dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- Densitas air : $998,2 \text{ Kg/m}^3$
- Panas Spesifik : $4182 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$
- Massa air : 30 Kg

3.2.2.2. PCM Parafin

PCM yang digunakan adalah parafin padat atau lilin parafin merk jangkar TNI seperti gambar 3.11. dengan jumlah volume:

$$\begin{aligned}\text{Jumlah parafin} &= \text{Volume Plat HE} - \text{Volume pipa HE} \\ &= (21,5 \times 21,5 \times 56) - (9.120,73462 \text{ cm}^3) \\ &= 16.765,2654 \text{ cm}^3 = 16,765 \text{ liter paraffin}\end{aligned}$$

Lilin yang diisikan pada tabung saat cair 80% dari volume yang bisa diisikan, agar pada saat lilin memuai tidak terjadi pecah pada HE. Jadi jumlah volume lilin adalah

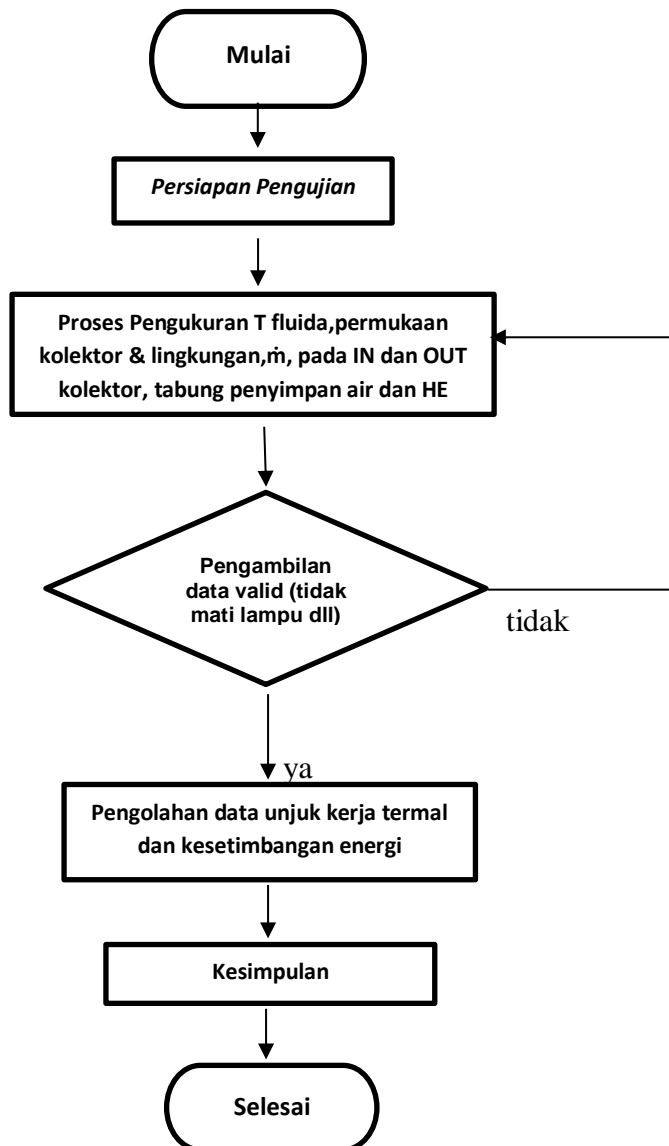
$$\begin{aligned}\text{Volume parafin} &= \text{Jumlah paraffin} \times 80\% \\ &= 16,765 \text{ liter} \times 80\% \\ &= 13,412 \text{ liter parafin}\end{aligned}$$



Gambar 3.12. Parafin padat

3.3. Diagram Alir Metodologi Penelitian

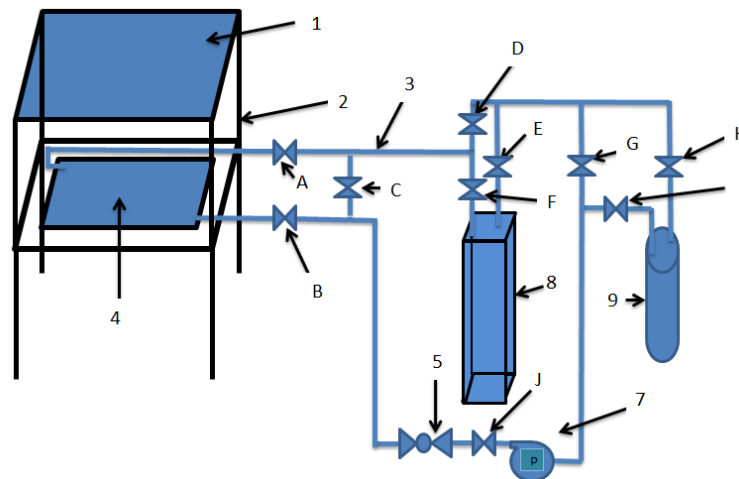
Diagram alur merupakan tahap-tahapan dalam proses penelitian dimulai dari awal persiapan hingga proses pembuatan laporan. Setelah seluruh alat dan bahan pengujian tersedia, selanjutnya mengukur data sesuai parameter yang ditentukan dan direkam dalam data logger, selanjutnya dijadikan pertimbangan dalam membuat kesimpulan.



Gambar 3.13 Diagram alur penelitian

3.4 Skema dan Prosedur Pengujian

Skema pengujiannya kolektor surya dipanaskan menggunakan solar simulator seperti pada gambar 3.14. berikut.



Keterangan:

1. Solar simulator
2. Rangka dudukan solar simulator dan kolektor surya
3. Pipa air panas fleksibel
4. Kolektor surya plat datar
5. Water flow meter sensor
6. Keran air (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J)
7. Pompa air
8. Alat penukar panas/Heat exchangers
9. Tabung penyimpan air panas

Gambar 3.14. Skema Pengujian PCM pada HE

Proses pengujian dilakukan dua tahapan yaitu proses charging/pelelehan PCM dan proses discharging/memanaskan air di tabung. Faktor yang mempengaruhi pengujian adalah radiasi matahari, sebesar 997,5 W/m², 1183 W/m² dan 1393,8 W/m². Dengan variasi laju aliran masa air yang digunakan pada masing-masing radiasi adalah sebesar 2 lpm, 3 lpm, dan 4 lpm.

Pada proses pelelehan PCM, lampu solar simulator dinyalakan sampai temperatur rata-rata PCM ± 62 °C, yaitu pada saat PCM berubah menjadi cair semua. Sedangkan pada proses memanaskan air pada tabung prosesnya sampai air pada tabung dan PCM kondisi perubahan suhu berangsur stady $\pm 1-2$ °C. dan dilakukan dua kali pemanasan air dengan air yang baru. Setelah itu diambil datanya untuk menganalisis :

1. Pengaruh laju aliran terhadap temperatur air masuk dan keluar kolektor pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
2. Pengaruh radiasi terhadap temperatur air masuk dan keluar kolektor pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
3. Pengaruh laju aliran terhadap temperatur keluar HE pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
4. Pengaruh radiasi terhadap temperatur keluar HE pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
5. Pengaruh laju aliran terhadap temperatur rata-rata PCM pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
6. Pengaruh radiasi terhadap temperatur rata-rata PCM pada sistem pemanas air menggunakan kolektor surya jenis plat datar.
7. Pengaruh laju aliran terhadap temperatur air masuk dan air keluar pada HE.
8. Pengaruh laju aliran terhadap temperatur air masuk dan air keluar serta temperatur rata tengah pada tabung penyimpan air.
9. Pengaruh laju aliran terhadap temperatur rata-rata air dan paraffin.
10. Pengaruh laju aliran terhadap perpindahan panas di HE dan tabung air.

BAB V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Pengaruh laju aliran terhadap temperatur air masuk dan keluar kolektor serta temperatur rata-rata kolektor pada radiasi $997,5 \text{ W/m}^2$, 1183 W/m^2 , dan $1393,8 \text{ W/m}^2$ menunjukkan bahwa tidak seberapa pengaruh terhadap peningkatan temperatur air masuk dan keluar kolektor serta temperatur rata-rata kolektor.
2. Pengaruh radiasi terhadap temperatur keluar HE pada debit aliran 2 lpm, 3 lpm, dan 4 lpm menunjukkan bahwa berpengaruh terhadap peningkatan temperatur air masuk dan keluar kolektor serta temperatur rata-rata kolektor lebih cepat berbanding lurus dengan peningkatan radiasi yang diberikan.
3. Pengaruh laju aliran terhadap temperatur keluar HE pada radiasi $997,5 \text{ W/m}^2$, 1183 W/m^2 , dan $1393,8 \text{ W/m}^2$ menunjukkan bahwa peningkatan temperatur keluar HE lebih cepat berbanding lurus dengan peningkatan debit aliran aliran.
4. Pengaruh radiasi terhadap temperatur keluar HE pada debit aliran 2 lpm, 3 lpm, dan 4 lpm menunjukkan bahwa peningkatan temperatur keluar HE lebih cepat berbanding lurus dengan peningkatan radiasi yang diberikan.
5. Pengaruh laju aliran terhadap temperatur PCM rata-rata pada radiasi $997,5 \text{ W/m}^2$, 1183 W/m^2 , dan $1393,8 \text{ W/m}^2$ menunjukkan bahwa peningkatan temperatur PCM rata-rata lebih cepat seiring peningkatan debit aliran aliran.

6. Pengaruh radiasi terhadap temperatur PCM rata-rata pada debit aliran 2 lpm, 3 lpm, dan 4 lpm menunjukkan bahwa peningkatan temperatur PCM rata-rata lebih cepat berbanding lurus dengan peningkatan radiasi yang diberikan.
7. Pengaruh laju aliran terhadap temperatur air masuk dan air keluar pada HE pada siklus pertama yaitu waktu untuk mencapai temperature air masuk HE sebesar 40°C lebih cepat untuk laju aliran 4 lpm (110 detik) dan yang lainnya lebih lama (130 detik untuk kecepatan 3 lpm dan 190 detik untuk kecepatan 2 lpm).
8. Pengaruh laju aliran terhadap temperatur air masuk dan air keluar serta temperatur rata tengah pada tabung penyimpan air pada siklus pertama yaitu waktu untuk mendapatkan temperature keluar tabung sebesar 40°C lebih cepat untuk laju 4 lpm (120 detik) sedangkan pada kecepatan 3 lpm dan 2 lpm lebih lama (masing-masing 130 detik dan 220 detik).
9. Pengaruh laju aliran terhadap temperatur rata-rata air dan paraffin pada siklus pertama yaitu Temperatur air dari parafin sebesar 48.6°C dan temperatur air sebesar 46.5°C dengan waktu pemanasan 1230 detik (20.5 menit) pada kecepatan aliran 4 lpm. Kecepatan aliran 3 lpm memiliki temperatur ahir parafin sebesar 48.5°C dan temperatur ahir air sebesar 45.5°C dengan waktu pemanasan 1290 detik (21.5 menit). Pada kecepatan aliran 2 lpm temperatur ahir dari parafin sebesar 48.8°C dan temperatur air sebesar 45.95°C dengan waktu pemanasan 1230 detik (20.5 menit). Temperatur optimal air yang dihasilkan dari proses pemanasan pertama adalah sebesar 45°C.
10. Laju perpindahan panas pada masing-masing radiasi mengalami *trend* yang sama yaitu mengalami peningkatan yang signifikan di awal. Kemudian setelah mencapai laju perpindahan panas maksimum, laju perpindahan panasnya menurun.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian pemanasan air menggunakan material berubah fasa adalah sebagai berikut:

1. *Termocouple* yang digunakan sebaiknya tidak dapat menyerap air karena dapat menyebabkan kebocoran.
2. Dalam proses pemasangan *Termocouple* dalam pipa sebaiknya memperhatikan dengan seksama apakah ujung *Termocouple* menempel pada pipa atau menggantung pada tengah pipa, serta sebaiknya pada bagian masuk dan keluar baik pada tabung penyimpanan air ataupun HE dipasang lebih dari satu *Termocouple* sebagai pembanding agar kemungkinan kesalahan pembacaan dapat diminimalisir.
3. Perlu digunakannya pengontrol aliran dengan sistem otomasi sehingga kecepatan aliran dapat dikontrol dengan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Armand Fopah Lele. 2016. *A Thermochemical Heat Storage System for Households Combined Investigations of Thermal Transfers Coupled to Chemical Reactions*. Leuphana Universität Lüneburg, Germany
- Ashutosh Sharma, Ranchan Chauhan, Mehmet Ali Kallioglu, Veerakumar Chinnasamy, Tej Singh. 2020. *A Review of Phase Change Materials (PCMs) for Thermal Storage in Solar Air Heating Systems*. Department of Green Energy Technology, Pondicherry University, India.
- Bahman Zohuri. 2017. *Heat Exchanger Types and Classifications*. University of New Mexico.
- Bouhala, T. El Rhafiki, T. Kousksou, A. Jamil, Y. Zeraouli. 2018. *PCM Addition Inside Solar Water Heaters Numerical Comparative Approach*. Journal of Energy Storage 19: 232–246.
- Darwin. 2013. *Analisa Pengaruh Konfigurasi Pipa Pemanas Air Surya Terhadap Efisiensi*. Departement Of Mechanical Engineering, Syiah Kuala University Banda Aceh 23111, Indonesia.
- Datong Gao, Guangtao Gao, Jingyu Cao, Shuai Zhong, Xiao Ren, Yousef N. Dabwan, Maobin Hu, Dongsheng Jiao, Trevor Hocksun Kwan , Gang Pei. 2020. *Experimental and Numerical Analysis of an Efficiently Optimized Evacuated Flat Plate Solar Collector Under Medium Temperature*. Department of Thermal Science and Energy Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China.
- Elumalai Vengadesan, Ramalingam Senthil. 2020. *A Review on Recent Development of Thermal Performance Enhancement Methods of Flat Plate Solar Water Heater*. Journal Solar Energy 206 (2020) 935-961.
- Gerald Englmaira, Mark Dannemanda , Jakob B. Johansena , Weiqiang Konga , Janne Dragsteda , Simon Furboa , Jianhua Fana. 2016. *Testing of PCM Heat Storage Modules With Solar Collectors as Heat Source*. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark. Energy Procedia 91: 138 – 144.
- Javadi, H.S.C. Metselaar, P. Ganesan. 2020. *Performance Improvement of Solar Thermal Systems Integrated With Phase Change Materials (PCM)*. Juornal Solar Energy 206 (2020) 330 – 352.

- John A. Duffie, William A. Beckman. 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes Fourth Edition*. Solar Energy Laboratory University of Wisconsin-Madison.
- Juan Zhao, Yasheng Ji, Yanping Yuan, Zhaoli Zhang and Jun Lu. 2018. *Energy-Saving Analysis of Solar Heating System with PCM Storage Tank*. Article Energies 2018, 11, 237; doi:10.3390/en11010237.
- Maldonado, E. Huertab, J. E. Coronab, O. Cehb, A. I. Leóné, I. Henandez. 2014. *Design and Construction of a Solar Flat Collector for Social Housing in México*. Journal Energy Procedia 57 (2014) 2159 – 2166.
- Mesut Abuska, Seyfi Sevik, Arif Kayapınar. 2018. *A Comparative Investigation of the Effect of Honeycomb Core on the Latent Heat Storage With PCM in Solar Air Heater*. School of Mechanical Engineering, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Turkey.
- Miftahul Aziz. 2020. *Unjuk Kerja Kolektor Surya Hybrid PV/T Tipe Aliran Serpentin Berdasarkan Temperatur Fluida Masuk Menggunakan Nanofluida*. Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik – Universitas Lampung.
- Mofijur M, Teuku Meurah Indra Mahlia, Arridina Susan Silitonga, Hwai Chyuan Ong, Mahyar Silakhori, Muhammad Heikal Hasan, Nandy Putra and S.M. Ashrafur Rahman. 2019. *Phase Change Materials (PCM) for Solar Energy Usages and Storage An Overview*. Article in Energies DOI: 10.3390/en12163167.
- Monia Chaabane, Hatem Mhiri, Philippe Bournot. 2014. *Thermal Performance of an Integrated Collector Storage Solar Water Heater (ICSSWH) With Phase Change Materials (PCM)*. journal homepage : www.elsevier.com/locate/enconman.
- Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal. 2018. *Fundamentals of Heat Exchangers*. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Nile Valley University, Atbara, Sudan
- Rahardjo Tirtoatmodjo, Ekadewi Anggraini Handoyo. 1999. *Unjuk Kerja Pemanas Air Jenis Kolektor Surya Plat Datar dengan Satu dan Dua Kaca Penutup*. Jurusan Teknik Mesin - Universitas Kristen Petra. Jurnal Teknik Mesin Vol. 1, No. 2, Oktober 1999 : 115 – 121.
- Saman, E. Halawa, M. Belusko, F. Bruno. 2016. *Thermal Performance of a Roof Integrated Solar Heating System With PCM Thermal Storage*. Sustainable Energy Centre - University of South Australia.

Shalaby, A.E. Kabeel, B.M. Moharram, A.H. Fleaf. 2020. *Experimental Study of the Solar Water Heater Integrated With Shell and Finned Tube Latent Heat Storage System*. *Journal of Energy Storage* 31 (2020) 101628.

Sulaeman, Darul Mapasid. 2013. *Analisa Efisiensi Kolektor Surya Plat Datar Dengan Debit Aliran Fluida 3-10 Liter/Menit*. Institut Teknologi Padang – Indonesia.

Yunus A. Cengel. *Heat and Mass Transfer A Practical Approach*, 3rd Edition.