

SKRIPSI

**ANALISIS EFISIENSI TERMAL PEMANAS AIR TENAGA
MATAHARI DENGAN PIPA BERBENTUK SPIRAL DAN
VARIASI PENAMBAHAN ABSORBER BERBENTUK
KERUCUT**

Disusun dan Diajukan oleh :

**WAHYU RAMADHAN
D021191035**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS EFISIENSI TERMAL PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI DENGAN PIPA BERBENTUK SPIRAL DAN VARIASI PENAMBAHAN ABSORBER BERBENTUK KERUCUT

Disusun dan diajukan oleh

Wahyu Ramadhan
D021191035

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 21 Desember 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T
NIP. 19720825 200003 1 001

Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, S.T., M.Sc
NIP. 19760216 201012 1 002

Ketua Program Studi,

Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T
NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : WAHYU RAMADHAN

NIM : D021191035

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

*“ANALISIS EFISIENSI TERMAL PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI
DENGAN PIPA BERBENTUK SPIRAL DAN VARIASI PENAMBAHAN
ABSORBER BERBENTUK KERUCUT”*

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggung jawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 21 Desember 2023

Yang Menyatakan,



Wahyu Ramadhan

ABSTRAK

WAHYU RAMADHAN, *Analisis Efisiensi Termal Pemanas Air Tenaga Matahari Dengan Pipa Berbentuk Spiral Dan Variasi Penambahan Absorber Berbentuk Kerucut* (dibimbing oleh Jalaluddin dan Andi Amijoyo Mochtar)

Pemanas air tenaga surya merupakan sistem pemanasan air dengan prinsip menyerap energi matahari dan menukarnya menjadi energi panas pada air yang kemudian dapat digunakan untuk keperluan rumah tangga. Komponen sistem terdiri dari kolektor surya dan tangki penyimpan air, untuk kolektor surya terdiri dari plat penyerap, pipa tembaga melingkar serta isolasi kaca dan *stryrofoam*. Untuk mengetahui performa dari sistem ini, maka dilakukan pengujian dengan memvariasikan penambahan absorber berbentuk kerucut untuk mencari efisiensi tertinggi yang bisa dihasilkan kolektor. Pengujian dilakukan dengan besar laju aliran air 8,4 L/h dan intensitas cahaya matahari 1 kW setiap pengambilan data. Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Energi Terbarukan Fakultas Teknik Kabupaten Gowa. Dari hasil penelitian ini diperoleh suhu outlet tertinggi yang dicapai adalah 38,90 °C pada kolektor pipa spiral absorber dan suhu outlet tertinggi yang dicapai 37,89 °C pada kolektor pipa spiral standar. Nilai efisiensi tertinggi rata-rata yang diperoleh yakni sebesar 77,3% pada kolektor pipa spiral absorber dan nilai efisiensi tertinggi rata-rata sebesar 70% pada kolektor pipa spiral standar. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan tipe aliran spiral dan penambahan absorber kerucut akan meningkatkan nilai temperatur keluar air sebesar 7,3 %.

Kata Kunci : Pemanas Air Tenaga Matahari, Pipa Spiral, Absorber, Efisiensi

ABSTRACT

WAHYU RAMADHAN, *Analysis of Thermal Efficiency of Solar Water Heaters with Spiral-Shaped Pipes and Variations of Cone-Shaped Absorber Additions* (supervised by Jalaluddin and Andi Amijoyo Mochtar).

Solar water heater is a water heating system with the principle of absorbing solar energy and converting it into heat energy in water which can then be used for household purposes. The system components consist of solar collectors and water storage tanks, for solar collectors consisting of absorber plates, circular copper pipes and glass and styrofoam insulation. To find out the performance of this system, testing was carried out by varying the addition of a conical absorber to find the highest efficiency that could be produced by the collector. Tests were carried out with a water flow rate of 8.4 L/h and sunlight intensity of 1 kW per data collection. Data collection was carried out at the Renewable Energy Laboratory, Faculty of Engineering, Gowa Regency. From the results of this study, the highest outlet temperature achieved was 38.90 °C in the absorber spiral pipe collector and the highest outlet temperature achieved was 37.89 °C in the standard spiral pipe collector. The highest efficiency value obtained is 78% in the absorber spiral pipe collector and an efficiency value of 70% in the standard spiral pipe collector. It can be concluded that the use of spiral flow type and the addition of conical absorber will increase the value of water outlet temperature up to 7,3 %.

Keywords : Solar Water Heater, Spiral Tube, Absorber, Efficiency

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Ruang Lingkup.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari.....	5
2.2. Kolektor Pemanas Air Tenaga Matahari.....	6
2.3. Jenis-Jenis Kolektor Pemanas Air Tenaga Matahari.....	6
2.4. Pemanas Air Tenaga Matahari Pipa Berbentuk Spiral.....	9
2.5. Hubungan Bentuk Aliran Pipa terhadap Temperatur Outlet pada Kolektor...12	
2.6. Hubungan Laju Aliran Terhadap Efisiensi Kolektor.....	15
2.7. Efisiensi Kolektor Termal.....	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.2. Variabel Penelitian.....	18
3.3. Bahan Uji.....	19
3.4. Teknik Pengumpulan Data.....	21
3.5. Teknik Analisis.....	22
3.6. Diagram Alir Penelitian.....	24
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1. Analisis Hasil Pengujian Eksperimental.....	25
4.2. Pembahasan.....	29
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1. Kesimpulan	33
5.2. Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Skema pemanas air tenaga matahari sederhana	5
Gambar 2	<i>Conventional and Spiral Tube Collector</i>	6
Gambar 3	<i>Flat Plate Collector, Concentrating Collector, dan Evacuated Tube Collector</i>	7
Gambar 4	Kolektor Matahari Pipa Spiral Pelat Datar.....	9
Gambar 5	Pipa Absorber Berbentuk Spiral.....	10
Gambar 6	Skema Kolektor Pelat Kerucut dan Kolektor Pelat Kerucut dengan Pipa Spiral	10
Gambar 7	Tampak Melintang dari Kolektor Surya Pipa Spiral Kerucut.....	11
Gambar 8	Perbandingan Kolektor Surya Pipa Spiral Pelat Kerucut dengan Kolektor Pelat Datar.....	12
Gambar 9	Perbandingan Eksperimental SWH Tipe Aliran Pipa Lurus, Pipa Melengkung, dan Pipa Spiral	12
Gambar 10	Variasi Per Jam Dari Temperature <i>outlet</i>	13
Gambar 11	Efisiensi Termal Harian Rata-Rata Dari Kolektor Matahari.....	14
Gambar 12	Grafik Perbandingan Tipe Aliran Serpentine dengan Aliran Spiral Terhadap Temperatur Outlet Pemanas Air.....	15
Gambar 13	Efisiensi Kolektor terhadap Laju Aliran Massa dengan Peningkatan Intensitas pada Kolektor Pipa Spiral	16
Gambar 14	Mini <i>Solar Collector</i> Standar Dan Mini <i>Solar Collector</i> Absorber Kerucut yang Akan Diuji	19
Gambar 15	Desain Mini <i>Solar Collector</i> Standar Dan Mini <i>Solar Collector</i> Absorber Kerucut	20
Gambar 16	Skema Pengaturan Perangkat Penelitian	21
Gambar 17	Skema Instalasi Pengujian dan Titik Pengukuran	21
Gambar 18	Alat <i>Principle of Solar Rhermal Energy</i>	23
Gambar 19	Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 20	Grafik Perbandingan Temperatur <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> Pada Kolektor.....	29
Gambar 21	Grafik Perbandingan Energi Kalor Yang Diserap Oleh Kolektor Pipa Spiral Standar dan Kolektor Pipa Spiral Absorber	30
Gambar 22	Grafik Perbandingan Efisiensi Kolektor Pipa Spiral Standar Dan Kolektor Pipa Spiral Dengan Absorber.....	31

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Konduktivitas Termal Beberapa Logam Tertentu	11
Tabel 2. Spesifikasi Mini <i>Solar Collector</i> Pipa Spiral	18

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Simbol	Arti dan Keterangan
%	Persentase
V_w	Kecepatan Angin
\dot{m}	Laju Aliran Massa
C_p	Panas Spesifik
A_c	Luas permukaan benda
$^{\circ}\text{C}$	Derajat Celsius
ETC	Evacuated Tube Collector
ET 202	Energy Thermal Seri 202
FPC	Flat Plate Collector
CFC	Curved Flow Collector
STC	Spiral Tube Collector
CC	Concentrating Collector
T	Temperature
TES	Thermal Energy Storage
ν	Visikositat Kinematik
W	Watt
R	Radiation / Radiasi
I	Intensitas Cahaya
L/h	Liter per hour
J	Joule
SWH	Solar Water Heater
g	Percepatan Gravitasi
m	Meter
mm	Milimeter
kg	Kilogram
S	Radiasi Per Satuan Luas
Qu	Energi yang Berguna

η	Efisiensi
K	Kelvin
α	Absorbsivitas rata-rata
ϵ_p	Emisivitas pelat absorber
ϵ_c	Emisivitas kaca
τ	Transmivitas kaca penutup
MF	Mass Flow Rate

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Karakteristik Beberapa Bahan Tertentu	35
Lampiran 2 Tabel Karakteristik Bahan Isolasi	36
Lampiran 3 Tabel Karakteristik Air pada Tekanan 1 Atm	37
Lampiran 4 Tabel Karakteristik Air Jenuh	38
Lampiran 5 Tabel Pengambilan Data Spiral Standar ke-1	39
Lampiran 6 Tabel Pengambilan Data Spiral Standar ke-2	43
Lampiran 7 Tabel Pengambilan Data Spiral Standar ke-3	47
Lampiran 8 Tabel Pengambilan Data Spiral dengan Absorber ke-1	51
Lampiran 9 Tabel Pengambilan Data Spiral dengan Absorber ke-2	55
Lampiran 10 Tabel Pengambilan Data Spiral dengan Absorber ke-3	59
Lampiran 11 Tabel Hasil Perhitungan Spiral Standar 1, 2, 3	63
Lampiran 12 Tabel Hasil Perhitungan Spiral Absorber Kerucut 1, 2, 3	64
Lampiran 13 Dokumentasi	65

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim,

Alhamdulillah, Puji dan Syukur kita panjatkan kepada Allah SWT. Dzat yang hanya kepada-Nya memohon pertolongan karena atas segala pertolongan, rahmat, dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“ANALISIS EFISIENSI TERMAL PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI DENGAN PIPA BERBENTUK SPIRAL DAN VARIASI PENAMBAHAN ABSORBER BERBENTUK KERUCUT”** yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad Sallallahu Alaihi Wasallam yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan teladan terbaik bagi umat manusia.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan skripsi dan penelitian ini tidaklah mudah, banyak hambatan dan masalah yang dihadapi hingga sampai ke titik ini. Namun berkat doa dan dukungan dari berbagai pihak akhirnya skripsi dan penelitian ini telah selesai.

Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST, MT selaku Pembimbing pertama dan Bapak Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, S.T., M.Sc selaku pembimbing kedua, yang telah memberikan banyak pelajaran berharga bagi penulis yang tidak bisa ternilai, meluangkan waktu dan tenaganya dan juga memberikan motivasi dan ide-ide kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Tidak Lupa penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ayahanda Muhammad Nur yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, dan semangat kepada penulis dan ibunda Piprianti Keswara yang tanpa lelah dari kecil merawat dengan penuh kasih sayang yang tulus kepada penulis hingga saat ini, dan memberikan dukungan dan semangat yang tiada habisnya kepada penulis, dan juga kepada saudara serta keluarga besar yang namanya tidak dapat disebutkan satu-persatu yang selalu memberikan bantuan serta dukungan kepada penulis.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Yth. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Yth Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Yth. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mendidik, mengajarkan, dan membagikan ilmu serta pengetahuannya sehingga penulis semakin paham akan bidang ilmu teknik terkhusus pada bidang Teknik mesin
5. Staf Departemen Teknik Mesin, terkhusus Ibu Sita, Kak Yaya, Pak Arham dan juga Pak Mansur yang telah banyak membantu.
6. HMM FT-UH yang menjadi tempat belajar dan bermain selama proses perkuliahan maupun dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan dan Kanda-Kanda di Laboratorium Energi Terbarukan yang setia menemani selama masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
8. Saudara-saudara seperjuangan mahasiswa Departemen Teknik Mesin BRUZHLEZZ 2019 yang telah memberi semangat, dukungan, maupun doa dan kerja sama yang sudah dijalani selama ini.
9. Kanda-kanda senior HYDRAULIC¹⁵, COMPREZZOR¹⁶, ZYNCROMEZH¹⁷, dan REACTOR¹⁸ serta adik-adik ZTATOR²⁰ dan DEZILTER²¹ yang telah memberi bantuan selama proses perkuliahan maupun masukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Teman-teman di tongkrongan Alumni SDN 1 Pomalaa, SMPS Antam Pomalaa, dan SMAN 1 Pomalaa
11. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tak sempat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua baik dengan pahala ataupun rejeki. Penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis dengan sangat terbuka menerima kritikan dan saran yang membangun agar penulis dapat terus berkembang kedepannya.

Gowa, 13 Desember 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi matahari atau radiasi surya adalah sumber energi yang dapat dikelompokkan sebagai energi terbarukan yang merupakan hasil dari reaksi fusi nuklir di inti matahari. Energi matahari sampai dipermukaan bumi akan diserap (51%), dipantulkan, dan kembali keangkasa luar (30%) maupun ke awan di atmosfer (19%). Indonesia adalah negara yang dilalui garis khatulistiwa dan beriklim tropis, sehingga menjadikan Indonesia memiliki 2 musim dengan matahari yang bersinar sepanjang tahun (Yunianto, 2020).

Potensi energi surya di Indonesia cukup besar, dimana Indonesia menerima sinar matahari yang berkesinambungan sepanjang tahun. Sinar matahari rata-rata harian yang diterima Indonesia adalah 4.000-5.000 W/m², sedangkan rata-rata jumlah jam penyinaran antara 4 hingga 8 jam (BMKG, 2020). Penyinaran optimal dari energi surya tersebut dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari (Foster, 2019).

Kumat, A. (2021) menyatakan bahwa pemanas air tenaga matahari merupakan salah satu pemanfaatan energi surya dalam kehidupan sehari-hari. Air panas yang dihasilkan dibutuhkan untuk kehidupan sehari-hari, mulai dari keperluan rumah tangga hingga keperluan industri. Pemanas air tenaga matahari yang menggunakan matahari sebagai media yang memanaskan air dianggap merupakan cara yang lebih mudah dan murah jika dibandingkan dengan menggunakan energi listrik ataupun membeli bahan bakar gas ataupun bahan bakar minyak. Pemanas air tenaga matahari merupakan cara yang efektif dan efisien dalam memanaskan air karena hanya melalui pancaran sinar matahari langsung kita dapat memperoleh air panas.

Salah satu energi alternatif selain cahaya matahari dalam meningkatkan efektifitas pemanfaatan energi surya secara langsung, dapat dikembangkan melalui penggunaan Solar Water Heater dengan menggunakan pengumpul- pengumpul panas yang biasa disebut kolektor. Sebuah kolektor surya umumnya terdiri dari plat

penyerap yang memiliki konduktivitas termal yang baik, dimana plat penyerap ini berhubungan dengan pipa-pipa yang mengalirkan fluida dan sebuah penutup tembus cahaya di bagian atas. Energi radiasi matahari yang datang ditransmisikan melalui penutup transparan dan diubah menjadi panas oleh pelat penyerap dimana bagian dasar dan sisi kolektor diberi isolasi. Panas yang diterima oleh plat penyerap selanjutnya dikonduksikan ke pipa-pipa yang dialiri fluida (Nizar dkk, 2017).

Prinsip kerja kolektor surya dimulai dari radiasi matahari diserap oleh absorber pelat hitam. kemudian panas yang dihasilkan ditransfer ke fluida yang mengalir dalam pipa-pipa di atas absorber. Pemakaian *absorber* pelat hitam tersebut dimaksudkan untuk mengisolasi energi radiasi surya yang sudah mengenai absorber dengan maksimal ditransfer ke fluida yang mengalir (Verma et al., 2020)

Pada umumnya bentuk aliran atau susunan pipa pada kolektor surya yaitu berbentuk berkelok-kelok dan sejajar. Pada penelitian yang dilakukan Yonanda, A. dan Amrizal (2021) menggunakan jenis aliran atau bentuk spiral karena memiliki kontak perpindahan panas yang cukup signifikan dibandingkan dengan jenis aliran konvensional (berkelok-kelok atau sejajar). Penggunaan tipe aliran spiral akan menurunkan besar *pressure drop* fluida kolektor matahari sebesar 15.08 % dari penggunaan aliran berkelok-kelok. *Pressure drop* yang rendah maka akan mengurangi pemakaian daya pompa. Pemilihan kolektor surya aliran spiral dapat menghasilkan temperatur fluida lebih tinggi dan *Pressure drop* fluida yang relatif lebih rendah sehingga akan mengurangi pemakaian daya listrik pompa.

Untuk lebih mengetahui efisiensi kinerja termal dari pemanas air tenaga matahari dengan mini *solar collector* pipa berbentuk spiral, maka dilakukan penelitian dengan judul **“ANALISIS EFISIENSI TERMAL PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI DENGAN PIPA BERBENTUK SPIRAL DAN VARIASI PENAMBAHAN ABSORBER BERBENTUK KERUCUT”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang muncul dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana proses perancangan dan pembuatan mini *solar collector* dengan pipa tembaga berbentuk spiral ?
2. Bagaimana efisiensi pemanas air tenaga matahari dengan mini *solar collector* pipa berbentuk spiral standar dan mini *solar collector* pipa berbentuk spiral penambahan absorber ?
3. Bagaimana pengaruh penambahan pelat absorber tembaga berbentuk kerucut terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, diperoleh beberapa tujuan dari penelitian, sebagai berikut :

1. Membuat rancang bangun mini *solar collector* pipa tembaga berbentuk spiral.
2. Menentukan efisiensi pemanas air tenaga matahari dengan mini *solar collector* pipa tembaga berbentuk spiral.
3. Menganalisa pengaruh penambahan pelat absorber tembaga berbentuk kerucut terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan penulis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai tugas akhir yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Menjadi referensi untuk penelitian serupa kedepannya.
3. Memanfaatkan panas matahari sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan.
4. Dapat mengaplikasikan ilmu dan keterampilan yang diperoleh pada masa kuliah.

1.5 Ruang Lingkup

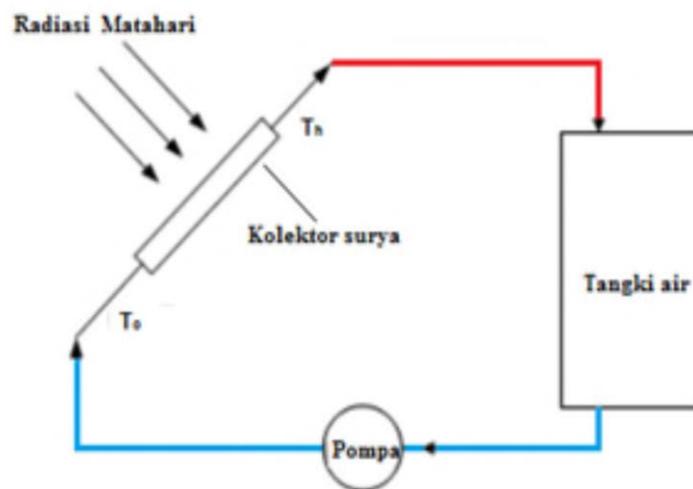
Penelitian ini membatasi diri berdasarkan kondisi berikut :

1. Pipa yang digunakan pada pengujian ini adalah pipa tembaga berbentuk spiral.
2. Intensitas radiasi matahari buatan 1 kW/m^2
3. Laju aliran fluida 8 L/h
4. Variasi mini *solar collector* spiral standar dan *solar collector* spiral dengan absorber.
5. Material pelat absorber yang digunakan adalah pelat tembaga dengan ketebalan 0,01 mm.
6. Alat uji yang digunakan adalah *Solar Thermal Energy Gunt 202*.
7. Penelitian dilakukan secara eksperimental.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemanas Air Tenaga Matahari

Pemanfaatan energi matahari dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pada sistem modul surya dan sistem pemanas air. Dalam sistem pemanas air, panas matahari merupakan sumber utama yang diperlukan, serta sebuah kolektor yang berfungsi mengumpulkan panas matahari serta memperbesar suhu dari panas matahari dalam suatu ruangan tertutup yang di dalamnya terdapat pipa tembaga yang dirancang sedemikian rupa sebagai tempat air melakukan sirkulasi. Pemanas air dengan tenaga surya dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti mencuci, mandi dan lain sebagainya. Panas dari matahari masuk kedalam kolektor melalui kaca kristal yang akan menyebarkan panas tersebut secara merata di dalam kolektor, lalu air yang mengalir melalui pipa tembaga di dalam kolektor akan menyerap panas tersebut, sehingga dihasilkan panas yang sebanding dengan panas yang berada di dalam kolektor (S. Sidopekso, 2011).



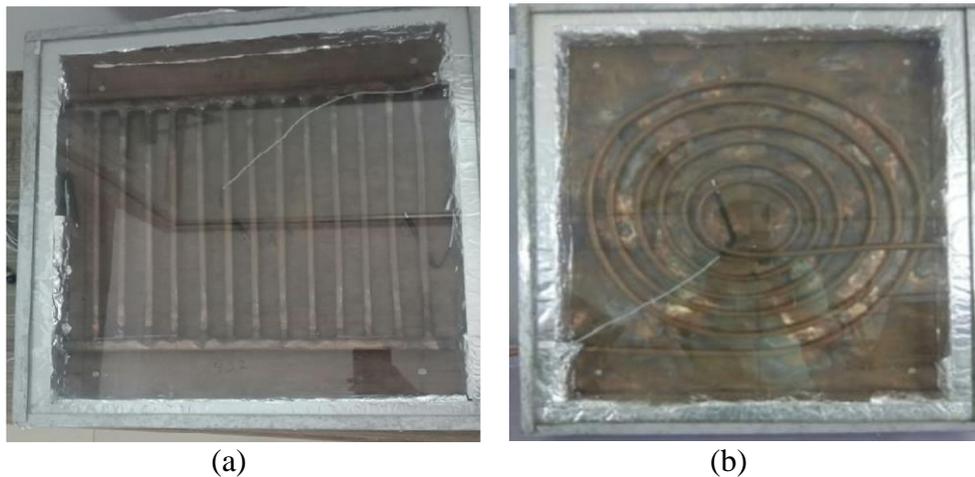
Gambar 1 Skema pemanas air tenaga matahari sederhana

Sumber : Faisal I.M. & Rangkuti Ch. (2017)

2.2 Kolektor Pemanas Air Tenaga Matahari

Komponen-komponen sebuah kolektor matahari 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. Pipa-pipa aliran fluida berfungsi mengalirkan fluida yang akan dipanaskan serta isolasi untuk mengurangi kerugian konduksi ke lingkungan (Philip dkk, 2000).

Prinsip kerja pemanas air tenaga matahari adalah panas dari matahari diterima oleh kolektor yang di dalamnya terdapat pipa-pipa berisi air. Kolektor yang berbentuk pelat dan pipa yang dicat hitam akan menyerap energi radiasi matahari sehingga suhu pelat dan pipa kolektor akan naik. Panas yang diterima kolektor akan diserap oleh air yang mengalir di dalam pipa sehingga suhu air meningkat (Yunianto dkk, 2020).

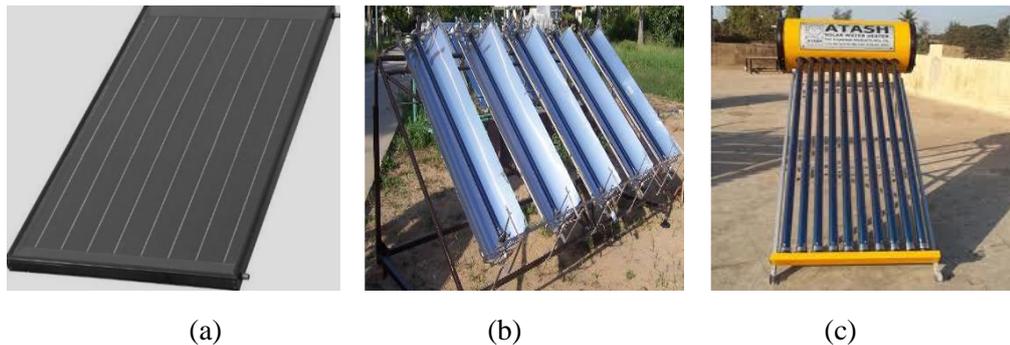


Gambar 2 (a) *Conventional* and (b) *Spiral Tube Collector*
Sumber : Verma et al., (2020)

2.3 Jenis-Jenis Kolektor Pemanas Air Tenaga Matahari

Pemanas air tenaga matahari didesain dalam dua bentuk yaitu aktif dan pasif. Pengertian aktif dan pasif mengacu pada terjadinya aliran air di dalam pipa-pipa kolektor. Jika aliran air digerakkan oleh pompa disebut aktif, sedangkan aliran air yang terjadi karena beda suhu dan ketinggian disebut pasif. Desain pemanas air tenaga matahari pasif memerlukan beda ketinggian saluran air masuk dan keluar. Air dingin dialirkan dari bawah sedangkan air panasnya dialirkan ke atas karena massa jenis air panas lebih kecil daripada yang dari massa jenis air dingin (prinsip *thermosipon*). Kemudian, air masuk ke dalam tangki penyimpanan panas .

Terdapat beberapa jenis kolektor matahari, diantaranya adalah kolektor matahari pelat datar, kolektor dengan pemusat (*concentrating collector*), dan kolektor tabung vakum (*evacuated tube collector*).



Gambar 3 (a) *Flat Plate Collector*, (b) *Concentrating Collector*, dan
(c) *Evacuated Tube Collector*

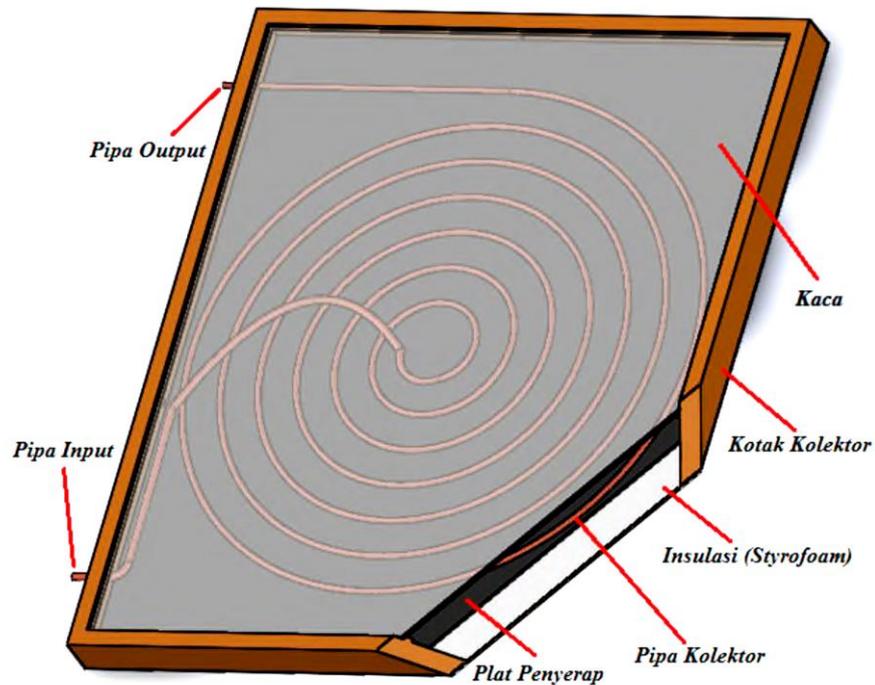
Sumber : Yunianto dkk (2020)

Pada kolektor matahari pelat datar (*Flat Plate Collector*) menggunakan pelat hitam, kaca, dan isolator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3(a). Hal ini bertujuan agar permukaan pelat hitam dapat menyerap energi matahari dan memanaskan air yang ada pada pipa. Selanjutnya, kaca dan isolator digunakan untuk mengurangi panas yang akan terbuang kembali ke luar kolektor. Keuntungan utama dari sebuah kolektor surya pelat datar adalah memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui pancaran langsung dan luas area tangkapan radiasi, tidak memerlukan tracking matahari, dan desain yang sederhana, memerlukan perawatan dan biaya pembuatan yang murah.

Kolektor matahari dengan pemusat (*Concentrating Collector*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3(b) dapat memfokuskan energi radiasi cahaya matahari pada suatu penangkap energi (*receiver*), sehingga dapat meningkatkan kuantitas energi panas yang diserap oleh absorber. Spesifikasi jenis ini dapat dikenali dari adanya komponen konsentrator yang terbuat dari material dengan reflektivitas yang tinggi. Berdasarkan komponen absorbernya, jenis ini dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu *Line Focus* dan *Point Focus*. *Concentrating Collector* ditujukan untuk mengkonsentrasikan energi matahari yang diperoleh kolektor ke pipa yang berisi air. Bagian *reflector* menjadi bagian terpenting yang harus diperhatikan pada kolektor ini karena arah dan sudut reflektor akan menentukan besarnya energi yang dapat dipantulkan ke pipa.

Selanjutnya, kolektor tabung vakum (*Evacuated Tube Collector*) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3(c) dirancang untuk menghasilkan energi panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan dua jenis kolektor surya sebelumnya. Keunikan dari kolektor tabung vakum adalah efisiensi transfer panasnya yang tinggi dan juga faktor kehilangan panasnya yang relatif rendah. Hal ini dikarenakan fluida yang terjebak diantara absorber dan selubung kaca dikondisikan dalam keadaan vakum, sehingga mampu meminimalisasi kehilangan panas yang terjadi secara konveksi antara air dalam pipa dan tabung vakum yang menyelubungi. Hal ini menyebabkan kerugian panas total dari air dalam pipa ke udara lingkungan akan diperkecil. Selain itu, terdapat jenis kolektor lain yang lebih sederhana yaitu kolektor pemanas air kotak. Kontruksi kolektor pemanas air kotak terdiri dari kotak dengan penutup kaca dan di dalamnya berisi air. Sehingga kotak yang di bagian dalam dilapisi pelat hitam yang berfungsi sekaligus sebagai kolektor panas matahari. Suhu yang dapat dicapai sebesar 45°C dan mempunyai keunggulan yaitu sederhana dan mudah dibuat. Untuk meningkatkan efisiensi pemanas air ini, modifikasi desain dengan tetap mempertahankan kemudahan dalam pembuatan diperlukan (Yunianto dkk, 2020).

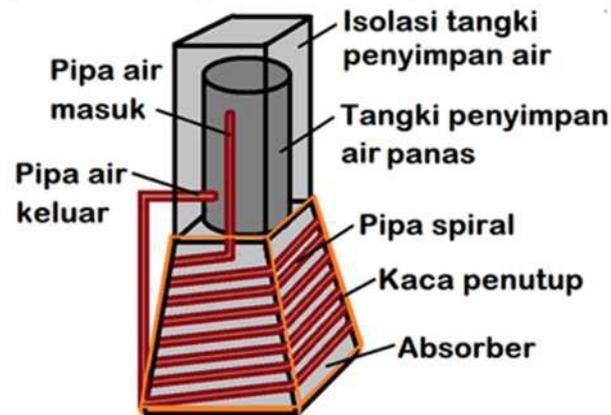
2.4 Pemanas Air Tenaga Matahari Dengan Pipa Berbentuk Spiral



Gambar 4 Kolektor Matahari Pipa Spiral Pelat Datar

Sumber : Faisal I.M. & Rangkuti Ch. (2017)

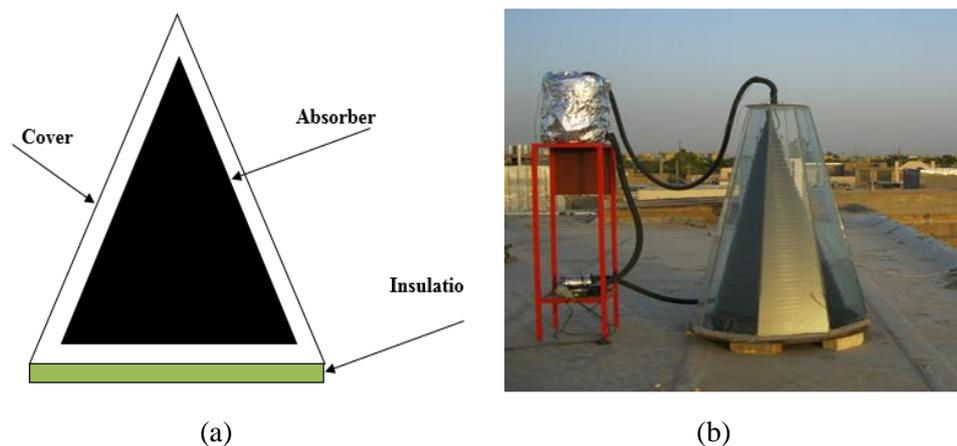
Pemanas air tenaga surya merupakan sistem pemanasan air dengan prinsip menyerap energi matahari dan menukarnya menjadi energi panas pada air yang kemudian dapat digunakan untuk keperluan rumah tangga. Komponen sistem terdiri dari kolektor surya dan tangki penyimpan air, untuk kolektor surya terdiri dari pelat penyerap dari aluminium, pipa tembaga melingkar serta isolasi kaca dan *stryrofoam*. Untuk mengetahui performa dari sistem ini, maka dilakukan pengujian dengan memvariasikan besar laju aliran air untuk mencari efisiensi tertinggi yang bisa dihasilkan sistem.



Gambar 5 Pipa Absorber Berbentuk Spiral

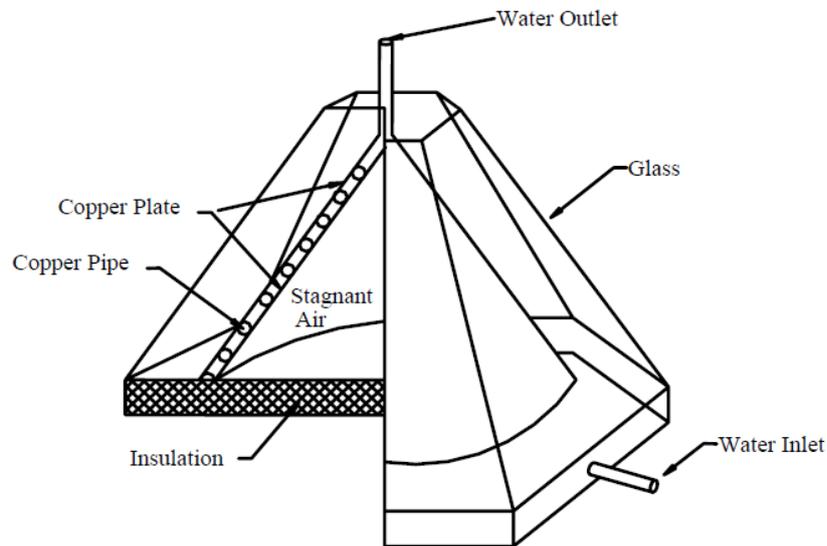
Sumber : Sambada F. A. R. (2019)

Beberapa permasalahan yang terjadi pada pemanas air tenaga matahari adalah temperatur outlet yang dihasilkan kurang maksimal dan sering naik atau turun drastis secara tiba-tiba. Hal tersebut bisa terjadi karena pengaruh cuaca yang tidak menentu. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Contohnya adalah penelitian mengenai kolektor surya pada konfigurasi sistem pemanas air yang digunakan adalah tipe spiral.



Gambar 6. (a) Skema Kolektor Pelat Kerucut dan (b) Kolektor Pelat Kerucut dengan Pipa Spiral

Sumber : Morajev M. dan Soozanyar A. (2016)



Gambar 7 Tampak Melintang dari Kolektor Surya Pipa Spiral Kerucut
 Sumber : Kurtbaş, İ. dan Durmuş, A. (2007)

Pelat absorber atau material absorber harus mempunyai konduktivitas termal yang baik agar terjadi perpindahan panas dari absorber ke pipa tembaga yang lebih efisien. Berikut beberapa bahan yang dapat digunakan sebagai absorber seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Konduktivitas Termal beberapa jenis logam tertentu

Jenis logam	Konduktivitas termal (k), W/(m.K)
Tembaga	385
Alumunium	205
Kuningan	109
Baja karbon, 1% C	43
Baja tahan karat	16,3

Sumber : Zemansky (2002)

2.5 Hubungan Bentuk Aliran Pipa Terhadap Temperature Outlet pada Kolektor



Gambar 8 Perbandingan Kolektor Surya Pipa Spiral Pelat Kerucut dengan Kolektor Pelat Datar

Sumber : Kurtbaş, İ. dan Durmuş, A. (2007)



(a)

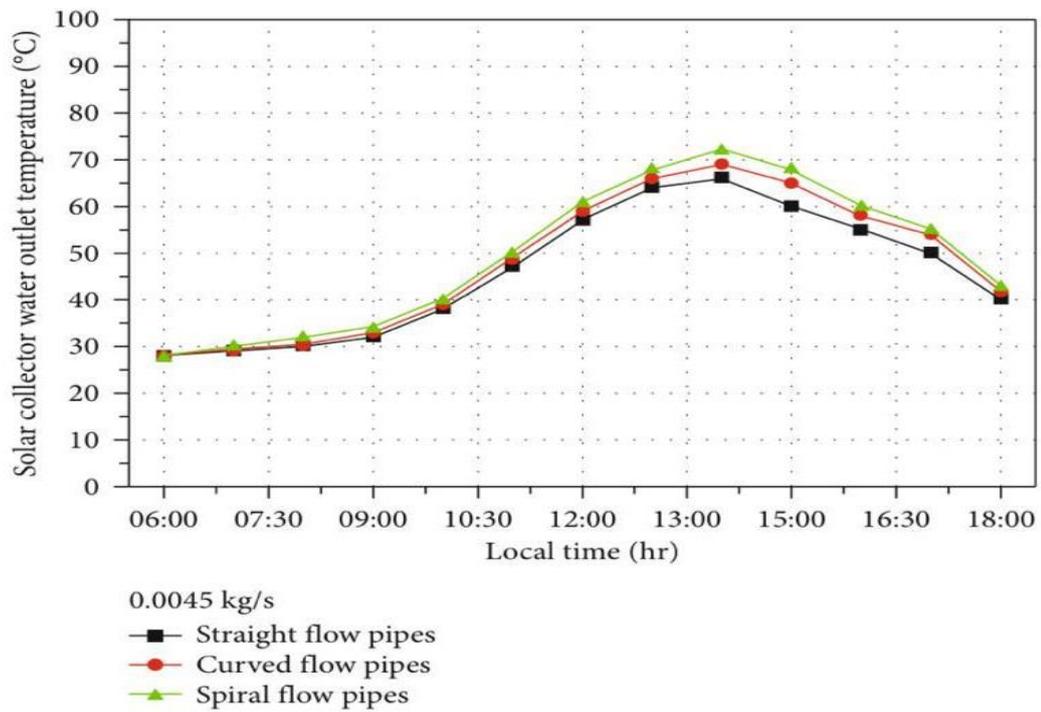
(b)



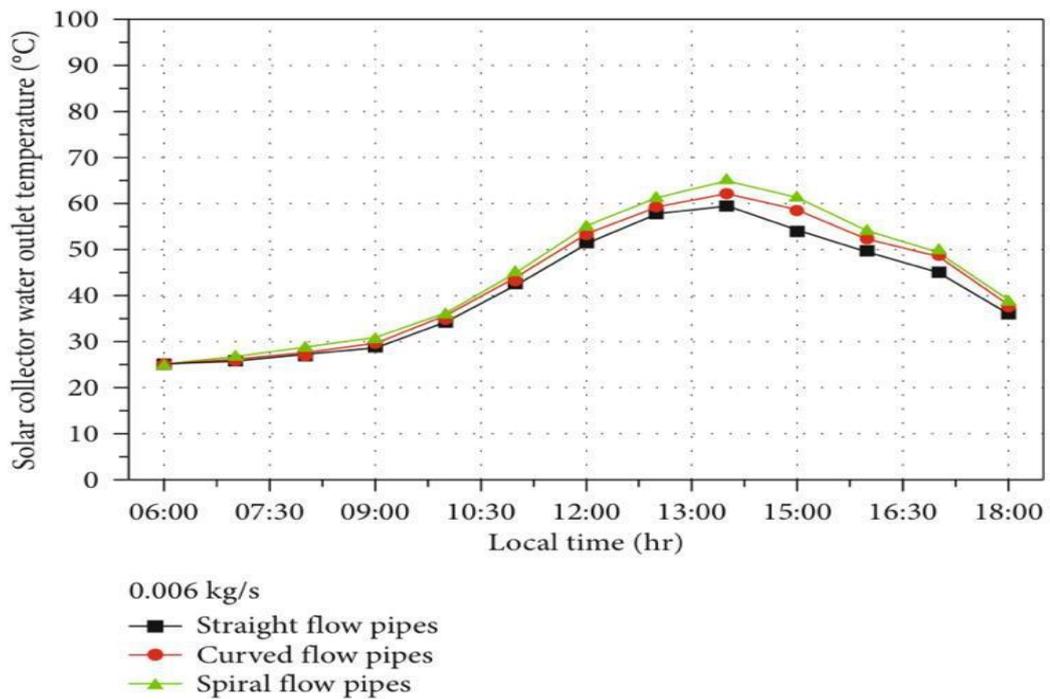
(c)

Gambar 9 Perbandingan Eksperimental SWH dengan tipe Aliran (a) Pipa Lurus, (b) Pipa Melengkung, dan (c) Pipa Spiral

Sumber : Muthuraman U. (2021)



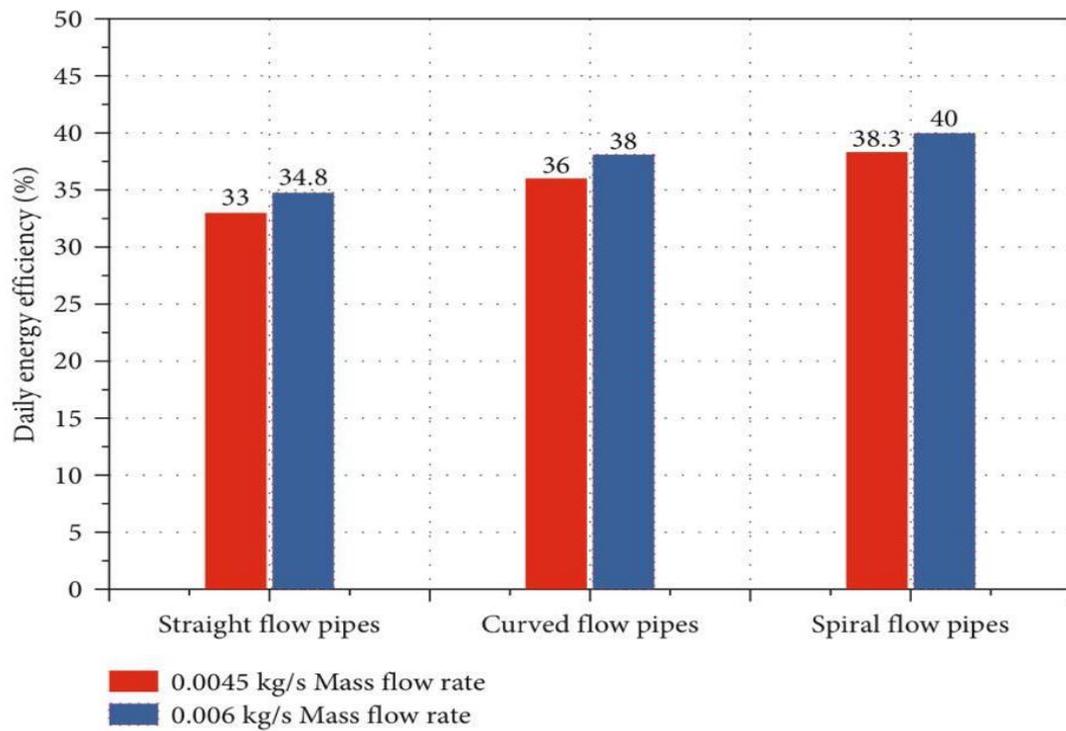
(a)



(b)

Gambar 10 Variasi per Jam terhadap Temperatur *Outlet*
 (a) MF = 0,0045 kg/s dan (b) MF = 0,006 kg/s

Sumber : Muthuraman U. (2021)

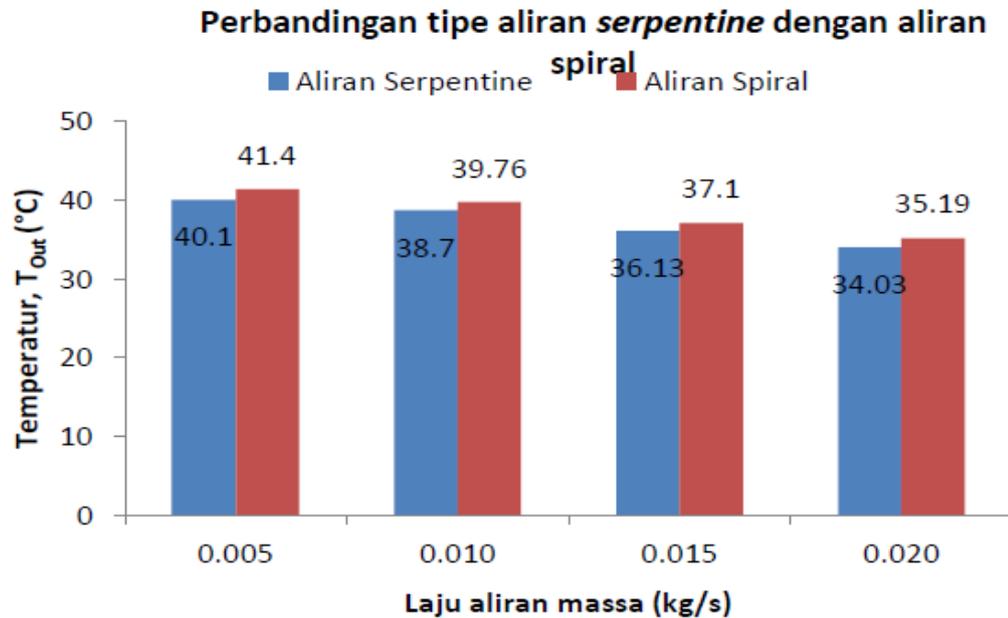


Gambar 11 Efisiensi Termal Harian Rata-Rata dari Kolektor Matahari

Sumber : Muthuraman U. (2021)

Studi literatur yang dilakukan telah menunjukkan potensi untuk meningkatkan efisiensi pemanas air tenaga matahari (SWH) dengan memodifikasi bentuk aliran pipa kolektor. Hal ini menunjukkan bahwa parameter aliran pipa kolektor merupakan faktor signifikan dan perlu dipelajari secara mendalam dengan memodifikasi bentuk aliran pipa kolektor matahari untuk mencapai efisiensi maksimum SWH. Dalam penelitian ini, efisiensi dari SWH pelat datar dianalisis dan dibandingkan dengan tiga konfigurasi bentuk aliran pipa yang berbeda. Bentuk aliran pipa yang dimaksud yakni *straight tubes*, *curved tubes*, dan *spiral tubes* seperti pada Gambar 7 (U. Muthuraman, 2021).

2.6 Hubungan Laju Aliran dan Intensitas Matahari terhadap Efisiensi Kolektor Pemanas Air Tenaga Matahari

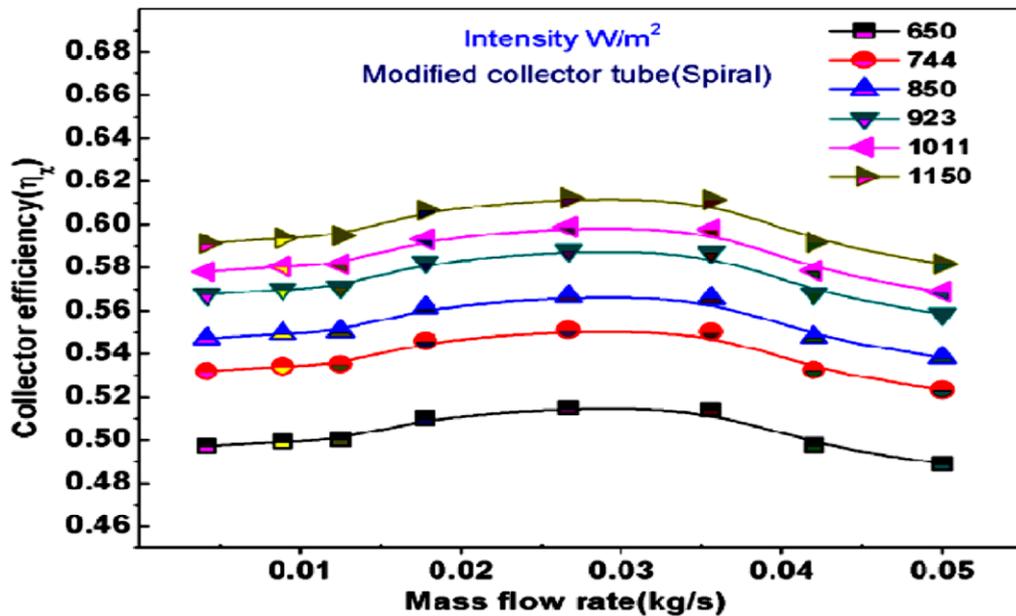


Gambar 12 Grafik Perbandingan Tipe Aliran *Serpentine* dengan Aliran Spiral Terhadap Temperatur Outlet Pemanas Air

Sumber : Yonanda A. & Amrizal (2023)

Gambar 12 menunjukkan perbandingan temperatur keluar fluida (T_{out}) berdasarkan penggunaan aliran serpentine dengan aliran spiral. Terlihat jelas bahwa perbedaan nilai temperatur keluar fluida kerja (T_{out}) rata-rata antara kolektor surya tipe aliran spiral dengan tipe aliran serpentine yaitu 1.3 °C atau 3.14 %. Hal tersebut menjelaskan bahwa penggunaan tipe aliran spiral akan meningkatkan nilai temperatur keluar fluida kerja (T_{out}) sebesar 3.14 % dibandingkan penggunaan aliran serpentine (Bagas Prasetyo, 2023)

Dapat diketahui bahwa kecepatan laju aliran sangat mempengaruhi temperature keluar air (T_{out}), semakin kecil laju aliran air maka akan semakin tinggi efisiensi yang akan diperoleh.



Gambar 13 Efisiensi Kolektor terhadap Laju Aliran Massa dengan Peningkatan Intensitas pada Kolektor Pipa Spiral

Sumber : Verma et al., (2020)

Penelitian sebelumnya menunjukkan kinerja kolektor pemanas air konvensional dengan variasi laju aliran massa untuk meningkatkan efisiensi. Hasil penelitian pada Gambar 11 menunjukkan bahwa efisiensi meningkat seiring dengan peningkatan laju aliran massa dan mencapai titik maksimum pada laju aliran massa 0,02 kg/s hingga 0,03 kg/s pada intensitas matahari tertentu. Efisiensi maksimum diperoleh pada intensitas sekitar 0,025 kg/s, namun akan menurun saat laju aliran massa terus meningkat. Penurunan ini disebabkan oleh kerugian gesekan, penurunan tekanan, dan kerugian entropi. Selain itu, efisiensi termal juga meningkat berbanding lurus dengan peningkatan intensitas radiasi matahari. Intensitas yang untuk efisiensi termal maksimum terletak pada kisaran 1000 hingga 1150 W/m². Namun, peningkatan intensitas di atas nilai tersebut akan meningkatkan kerugian, baik dalam bentuk eksergi maupun entropi. Selain itu, kerugian konvektif dan radiatif juga meningkat lebih tajam dibandingkan dengan keuntungan dari energi radiasi pada intensitas di atas nilainya yang optimal (Verma et al, 2019)

2.7 Efisiensi Kolektor Termal (η)

Definisi dari efisiensi kolektor pemanas air tenaga matahari yaitu perbandingan antara energi yang digunakan dengan jumlah energi matahari yang diterima pada waktu tertentu. Parameter-parameter yang menentukan efisiensi termal adalah intensitas radiasi yang datang ke permukaan kolektor panas surya (W/m^2), A luas permukaan kolektor panas matahari (m^2), faktor hasil kali transmisivitas dan absorpsivitas ($\tau\alpha$), laju aliran massa udara m , temperatur masuk menuju kedalam kolektor T_i , dan besarnya temperatur yang keluar meninggalkan kolektor panas surya T_o , GT adalah besarnya intensitas radiasi yang masuk dan diserap oleh pelat penyerap pada kolektor panas surya (W/m^2), q_u adalah laju perpindahan panas kolektor panas surya (Joule/s) (Auliya Burhanuddin, 2006).

Energi matahari yang diserap oleh kolektor akan dimanfaatkan untuk memanaskan air di dalam pipa. Dengan demikian, suhu air saluran masuk T_{in} tidak sama dengan suhu saluran keluar T_{out} . Energi kalor yang dimanfaatkan dari konversi radiasi matahari ditunjukkan pada rumus :

$$Q_u = \dot{m}_{water} C_{p_{water}} \Delta T_{water}, \quad (1)$$

Dimana

- Q_u : Energi kalor yang dimanfaatkan (kW)
- \dot{m}_{water} : laju aliran massa air (kg/s)
- $C_{p_{water}}$: Panas spesifik air (J/kg°C)
- ΔT_{water} : Perbedaan temperatur air (°C)

Efisiensi kolektor pada siang/malam adalah (Salem Argani, 2020) :

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I} = \frac{\dot{m}_{water} C_{p_{water}} \Delta T_{water}}{A_c I}, \quad (2)$$

Dimana

- η : Efisiensi kolektor (%)
- A_c : Area solar kolektor (m^2)
- I : Intensitas radiasi matahari (W/m^2)