ANALISIS UNJUK KERJA PEMANAS AIR SURYA DENGAN ADITIF PASIR SILIKA PADA PARAFIN WAX SEBAGAI MATERIAL PENYIMPAN PANAS LATEN

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

KUMAYA AIKATHUN NU'MA 442 15 011

ANDI NURUL AZISAH 442 15 012

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

MAKASSAR

2019

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Analisis Unjuk Kerja Pemanas Air Surya Dengan Aditif Pasir Silika Pada Parafin Wax Sebagai Material Penyimpan Panas Laten" oleh **Kumaya Aikathun Nu'ma** NIM 44215011 dan **Andi Nurul Azisah** NIM 44215012 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan pada program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 2 September 2019

Pembimbing I	Pembimbing II,
Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D.	Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T.
NIP. 19600817 198903 1 002	NIP. 19800820 200501 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi
D4 Teknik Pembangkit Energi

Ir. La Ode Musa M.T
NIP. 19601231 199003 1 021

ii

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Rabu tanggal 18 September 2019, tim penguji ujian sidang skripsi telah menerima skripsi mahasiswa Kumaya Aikathun Nu'ma NIM 44215011 dan Andi Nurul Azisah NIM 44215012 dengan judul "Analisis Unjuk Kerja Pemanas Air Surya Dengan Aditif Pasir Silika Pada Parafin Wax Sebagai Material Penyimpan Panas Laten"

Makassar, 18 September 2019

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi.

1.	Dr. Jumadi Tangko, M.Pd	Ketua	
2.	Abdul Rahman, S.T., M.T.	Sekretaris	( )
3.	Dr. Jamal, S.T., M.T.	Anggota 1	( )
4.	Musrady Mulyadi, S.ST., M.T.	Anggota 2	( )
5.	Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D.	Pembimbing 1	( )
6.	Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T.	Pembimbing 2	( )

iii

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas karunia dan kemudahan yang telah diberikan. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka melengkapi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, kami menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta atas dukungan doa, kasih sayang, serta materinya yang tak terhingga nilainya
2. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar M.Si., P.hD. selaku direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang, dan sekaligus sebagai pembimbing I yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatan untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Jamal S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang
4. Bapak Ir. La Ode Musa M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang
5. Bapak Muhammad Yusuf Yunus S.ST., M.T. selaku pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatan untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Kementrian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian kami dalam kegiatan Pekan Kreativitas Mahasiswa pendanaan tahun 2019.
7. Para Dosen dan Staf Politeknik Negeri Ujung Pandang yang tidak disebutkan namanya satu persatu atas torehan ilmunya kepada penulis.
8. Rekan – rekan sesama mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya kelas IV Teknik Pembangkit Energi angkatan 2015.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini dan demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembacanya.

Makassar, 18 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL i

HALAMAN PENGESAHAN ii

HALAMAN PENERIMAAN iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR SIMBOL xii

DAFTAR LAMPIRAN xiii

SURAT PERNYATAAN xiv

RINGKASAN xv

ABSTRAK xvi

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Ruang Lingkup Penelitian 4

1.4 Tujuan Penelitian 4

1.5 Manfaat Penelitian 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6

2.1 Pemanas Air Surya 6

2.1.1 Pemanas Air Surya Tipe Kolektor Plat Datar 6

2.2 Perpindahan Panas Pada Kolektor Surya 7

2.2.1 Konduksi 8

2.2.2 Konveksi 9
2.2.3 Radiasi 10
2.3 Bahan Penyimpan Kalor 10
2.3.1 Parafin Wax 13
2.3.2 Pasir Silika 15
2.4 Peningkatan Efisiensi Pemanas Air Surya 17
2.5 Perhitungan Efisiensi Pemanas Air Surya 18

BAB III METODE PENELITIAN 21

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 21
3.2 Alat dan Bahan 21
3.3 Prosedur/ Langkah Kerja 22
3.3.1 Pengujian Sifat Termal Material Penyimpan Kalor 22
3.3.2 Pengujian Unjuk Kerja Pemanas Air Surya 22
3.4 Teknik Pengumpulan Data 25
3.4.1 Pengujian Sifat Termal Material Penyimpan Kalor 25
3.4.2 Pengujian Unjuk Kerja Pemanas Air Surya 26
3.5 Teknik Analisis Data 27
3.5.1 Pengujian Sifat Termal Material Penyimpan Kalor 27
3.5.2 Pengujian Unjuk Kerja Pemanas Air Surya 27

BAB IV HASIL DATA DAN PEMBAHASAN 30

4.1 Hasil 30
4.1.1 Data Hasil Pengujian 30
4.1.2 Hasil Analisis Data 35
4.2 Pembahasan 45
4.2.1 Pengujian Sifat Termal Material Penyimpan Kalor 45
4.2.2 Pengujian Unjuk Kerja Pemanas Air Surya 46

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 52
5.1 Kesimpulan 52
5.2 Saran 52
DAFTAR PUSTAKA 53
LAMPIRAN 56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik PCM berdasarkan sifat-sifatnya 13

Tabel 2.2 Karakteristik parafin wax 15

Tabel 2.3 Karakteristik pasir silika 16

Tabel 4.1 Data Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 1% 30

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari ke 1, 11 Juli 2019 31

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari ke 1 33

Tabel 4.4 Data Hasil Analisis Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 1% 36

Tabel 4.5 Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari ke 1, 11 Juli 2019 38

Tabel 4.6 Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari ke 1 42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pemanas Air Surya Tipe Kolektor Plat Datar 7

Gambar 2.2 Parafin Wax 14

Gambar 2.3 Pasir Silika 17

Gambar 2.4 Diagram Rangkaian Pemanas Air Surya 18

Gambar 2.5 Pipa Absorber Sebagai Pemanas Sekunder 18

Gambar 3.1 Diagram Uji Unjuk Kerja Pemanas Air Surya 24

Gambar 3.2 Posisi Penempatan Sensor Temperatur 25

Gambar 3.3 Flowchart Kegiatan Penelitian 29

Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara kandungan pasir silica pada PCM hybrid paraffin wax dengan pasir silika (%) dengan Nilai konduktifitas termal, k (W/mK) 44

Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Waktu (WITA) dengan Temperatur (^{O}C) Air Masuk (T_{fi}) dan Keluar Kolektor (T_{fo}) Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 45

Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Waktu (WITA) dengan Temperatur (^{O}C) Air Masuk dan Keluar Kolektor Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Data Hari Ke-2 46

Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Waktu (WITA) dengan Beda Temperature Air Masuk dan Keluar Kolektor ΔT (^{O}C) Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika dan Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Data Hari Ke-2 47

Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Waktu (WITA) dengan Efisiensi η (%) Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika dan Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Data Hari Ke-2 48

Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika dan Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Selama 5 Hari Pengujian 49

DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
Q_{in}	W	Energi input sistem kolektor
G_{bt}	W/m^2	Intensitas radiasi matahari
A_s	m^2	Luas permukaan kolektor
Q_{abs}	W	Energi output sistem kolektor
V_k	m^3	Volume kolektor
ρ_w	kg/m^3	massa jenis air
C_p	J/kg.K	Kapasitas panas spesifik air
T_{fo}	^{0}C	Temperatur air keluar kolektor
T_{fi}	^{0}C	Temperatur air masuk kolektor
t	s	Waktu pengamatan
η	%	Efisiensi aktual sesaat kolektor surya
L_k	m	Lebar kolektor
P_k	m	Panjang kolektor
d	m	Diameter pipa
P_p	m	Panjang pipa
J_p	-	Jumlah pipa
T_{rk}	^{0}C	Temperatur rata-rata kolektor
T_{pcm}	^{0}C	Temperatur PCM
T_1	^{0}C	Temperatur air pada tangki posisi 1
T_2	^{0}C	Temperatur air pada tangka posisi 2
T_3	^{0}C	Temperatur air pada tangka posisi 3
k	W/mK	Konduktivitas termal

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 57

Lampiran 2 Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 58

Lampiran 3 Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax 66

Lampiran 4 Data Hasil Analisis Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 74

Lampiran 5 Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 75

Lampiran 6 Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax 83

Lampiran 7 Tabel Sifat-Sifat Fisisk Air 91

Lampiran 8 Kerangka Pipa Absorber dan Pipa Utama 92

Lampiran 9 Dokumentasi Kegiatan 94

SURAT PERNYATAAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Kumaya Aikathun Nu'ma/ Andi Nurul Azisah

Nim : 442 15 011/ 442 15 012

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul "Analisis Unjuk Kerja Pemanas Air Surya Dengan Aditif Pasir Silika Pada Parafin Wax Sebagai Material Penyimpan Panas Laten" merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 18 Agustus 2019

METERAI TEMPEL 6000 ENAM RIBU RUPIAH

Kumaya Aikathun Nu'ma
Nim : 442 15 011

METERAI TEMPEL 6000 ENAM RIBU RUPIAH

Andi Nurul Azisah
Nim : 442 15 012

xiv

ANALISIS UNJUK KERJA PEMANAS AIR SURYA DENGAN ADITIF PASIR SILIKA PADA PARAFIN WAX SEBAGAI MATERIAL PENYIMPAN PANAS LATEN

RINGKASAN

Kolektor surya berfungsi untuk memanaskan air di dalam pipa-pipa kolektor dengan cara mengkonversikan energi radiasi menjadi energi kalor yang berguna untuk memanaskan air. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pemanas air surya. Salah satu teknologi yang banyak digunakan ialah dengan menggunakan material penyimpan kalor atau lebih dikenal dengan *phase change material* (PCM) pada sistem pemanas air surya berupa parafin wax. Namun kekurangan dari PCM parafin wax ini adalah nilai konduktivitas yang rendah sehingga dibutuhkan bahan aditif pasir silika untuk meningkatkan nilai konduktivitasnya.

Pada penelitian ini dilakukan dua jenis pengujian. Pertama, dilakukan pengujian konduktivitas termal untuk menemukan sifat material dari PCM parafin wax campur pasir silika. Kedua, dilakukan pengujian unjuk kerja pemanas air surya yang menggunakan PCM parafin wax dengan aditif pasir silika 5%. PCM yang digunakan pada pemanas air surya sebanyak 9.04 kg. Pengujian dilakukan selama 5 hari dengan waktu pengambilan data dilakukan setiap selang waktu 10 menit.

Pada pengujian sifat material diperoleh semakin besar presentasi kandungan pasir silika dalam PCM hibrid maka semakin besar pula nilai konduktivitas termal yang diperoleh. Adapun efisiensi rata-rata pemanas air surya dengan PCM hibrid parafin wax dengan pasir silika 14,903% sedangkan efisiensi pemanas air surya dengan PCM parafin wax sebesar 11,494%.

ANALISIS UNJUK KERJA PEMANAS AIR SURYA DENGAN ADITIF PASIR SILIKA PADA PARAFIN WAX SEBAGAI MATERIAL PENYIMPAN PANAS LATEN

ABSTRAK

Sistem pemanas air tenaga surya adalah sebuah sistem yang menggunakan energi matahari untuk memanaskan air melalui kolektor surya yang kemudian disimpan ke dalam tangki penyimpanan. Untuk meningkatkan penyerapan kalornya digunakan material penyimpan kalor laten atau lebih dikenal dengan phase change material (PCM). Penelitian bertujuan untuk mengetahui sifat material PCM parafin wax dengan aditif pasir silika serta unjuk kerja pemanas air surya dengan menggunakan PCM parafin wax dengan aditif pasir silika. Metode yang digunakan adalah uji laboratorium konduktivitas termal dan pengujian eksperimental pemanas air surya menggunakan PCM parafin wax dengan aditiv pasir silika pada konsentrasi 5%. Pada pengujian sifat material konduktivitas termal PCM parafin wax dengan aditif pasir silika diperoleh nilai konduktivitas termal terbesar pada konsentrasi terbesar kandungan pasir silika pada PCM hibrid. Adapun nilai efisiensi pemanas air surya menggunakan PCM parafin wax hibrid dengan pasir silika lebih tinggi dari pemanas air surya menggunakan PCM parfin wax saja.

Kata Kunci— PCM; silika; efisiensi; swh; parafin

PERFORMANCE ANALYSIS OF SOLAR WATER HEATER WITH ADDITIVE OF SILICA SAND ON PARAFFIN WAX AS A LATENT HEAT STORAGE MATERIAL

ABSTRACT

A solar water heater system is a system that uses solar energy to heat water through a solar collector which is then stored in a storage tank. To increase heat absorption, latent heat storage material is used or better known as phase change material (PCM) in solar water heating systems. The aim of this study was to determine the properties of paraffin wax PCM material with additive mixture of silica sand and the performance of solar water heaters using PCM paraffin wax with additive mixture of silica sand. The method used is the Transient Hot Brigde (THB) laboratory test and Differential Scanning Calorimetry and also experimental testing of solar water heaters using PCM paraffin wax with additive mixture of silica sand at concentrations of 1%, 3%, and 5%. In testing the properties of DSC PCM paraffin wax with a 1% silica sand additive the melting point value was smaller than the PCM paraffin melting point value. In other hand, The efficiency of solar water heaters uses PCM paraffin wax hybrid with silica sand higher than solar water heaters using PCM paraffin wax.

Keywords— PCM ; silica; efficiency; swh; paraffin

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pemanas air tenaga surya adalah sebuah sistem yang menggunakan energi matahari untuk memanaskan air melalui kolektor surya yang kemudian disimpan ke dalam tangki penyimpanan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pemanas air surya. Dari hasil disimpulkan bahwa, peningkatan efisiensi pemanas air surya dapat dilakukan dengan memaksimalkan pengumpulan energi radiasi matahari dan meminimalkan kerugian panas pada tanki penyimpan kalor (Schmidt dan Goetzberger, 1990).

Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk memaksimalkan pengumpulan energi radiasi matahari ialah dengan menggunakan material penyimpan kalor laten atau lebih dikenal dengan *phase change material* (PCM). PCM dapat digunakan pada berbagai tipe pemanas air surya dengan berbagai jenis konstruksi dan material tangki penyimpan kalor (Sharma dan Chen 2009). Disamping penggunaan PCM pada tangki air, PCM juga dapat digunakan pada pipa absorber. Menurut Gond (2012) penggunaan ½ kg PCM dalam pipa kolektor plat datar dapat meningkatkan efisiensi pemanas air surya.

Beberapa kajian dilakukan untuk pemanfaatan PCM dari hidrat garam, parafin dan senyawa organik (Abhat, 1981). Parafin merupakan salah satu bahan penyimpan panas laten yang telah banyak diaplikasikan sebagai penyimpan panas. Selain memiliki kemampuan menyimpan panas laten yang besar, jenis parafin yang

beragam menyebabkan ketersediaannnya untuk dimanfaatkan pada rentang suhu yang dibutuhkan (Sharma dan Chen, 2009). Kelebihan lainnya dari parafin yaitu aman, terpercaya, sifat yang mampu diprediksi, tidak terlalu mahal, dan tidak korosif. Parafin tidak mudah bereaksi secara kimia dan stabil dibawah suhu 500 °C. Di samping itu, parafin mengalami perubahan volume yang kecil ketika mengalami perubahan fase dan mempunyai tekanan uap yang rendah pada fase cair. Pratiwi (2016) melakukan penelitian menggunakan PCM dari paraffin wax pada pemanas sekunder. Dari hasil analisis disimpulkan bahwa penggunaan PCM dari parafin wax dapat meningkatkan efisiensi pemanas air surya sebesar 15%

Kelemahan parafin wax sebagai PCM ialah konduktifitas termalnya rendah sehingga perlu waktu untuk proses peleburan dan pemadatan. Untuk mengatasi masalah ini, dilakukan penambahan partikel yang memiliki kondukstivitas termal tinggi, sehingga akan mampu meningkatkan konduktivitas termal parafin wax, untuk pemakaian sebagai material penyimpan panas laten (Dailami dkk, 2012).

Banyak penelitian yang telah dilakukan dalam usaha peningkatan konduktivitas panas PCM, diantaranya dengan membubuhkan material additive. Namun sampai saat ini masih sangat terbatas literatur yang menjelaskan secara detail metode tersebut. Hale et al (1971), merupakan kelompok peneliti pertama yang berusaha menggunakan partikel terdispersi untuk meningkatkan konduktivitas panas PCM ($LiNO_3$-$3H_2O$), partikel yang digunakan bubuk aluminium dan bubuk alumina (Al_2O_3). Chow et al (1996), mengusulkan dua teknik untuk meningkatkan konduktivitas termal material penyimpan panas menggunakan Li untuk aplikasi pada suhu tinggi. Ide dari teknik peningkatan pertama adalah menggunakan bentuk

wadah yang berbeda untuk merangkum PCM berbasis LiH. Pada lapisan antar permukaan di isi dengan logam Li. Teknik peningkatan kedua mengusulkan komposit yang terdiri dari logam Ni dan LiH. Hasil menunjukkan bahwa kedua teknik tersebut ternyata dapat meningkatkan konduktivitas termal dari PCM asli

Sebagaimana diuraikan sebelumnya bahwa untuk meningkatkan sifat perpindahan kalor PCM ialah dengan memberi campuran bahan aditif. Sifat bahan aditif yang baik ialah mempunyai konduktivitas termal yang tinggi dan mudah didapatkan. Salah satu material yang memenuhi kriteria tersebut ialah pasir silika. Pasir silika cukup banyak di Indonesia dan mudah didapatkan. Selain konduktivitas termal, konsentrasi partikel juga berpengaruh terhadap karakteristik perpindahan kalor. Dengan demikian, konduktivitas termal dan konsentrasi partikel pasir silika juga berpengaruh terhadap efisiensi pemanas air surya.

Dalam penelitian ini akan digunakan parafin wax dengan aditif pasir silika sebagai PCM pada pemanas air surya. Penelitian ini sangat penting untuk dilakukan karena merupakan penerapan teknologi tepat guna dan inovatif. Penelitian ini sangat mendukung program pemerintah di bidang penghematan energi dan penerapan teknologi ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang sebelumnya, maka permasalahan penelitian dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana sifat termal parafin wax dengan aditif pasir silika sebagai material penyimpan panas laten?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan parafin wax dengan aditif pasir silika sebagai material penyimpan panas laten terhadap unjuk kerja pemanas air surya?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penilitian adalah sebagai berikut :

1. Sifat termal parafin wax dengan aditif pasir silika sebagai material penyimpan panas laten
2. Pengaruh penggunaan parafin wax dengan aditif pasir silika sebagai material penyimpan panas laten terhadap unjuk kerja pemanas air surya

1.4 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan sifat termal parafin wax dengan aditif pasir silika sebagai material penyimpan panas laten.
2. Menentukan pengaruh penggunaan parafin wax dengan aditif pasir silika sebagai material penyimpan panas laten terhadap unjuk kerja pemanas air surya.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya untuk pengembangan alat pemanas air surya.
2. Sebagai bahan pembelajaran bagi mahasiswa dalam mempelajari teknologi pemanas air surya.
3. Memberikan sumbangan pemikiran kepada masyarakat dalam perkembangan teknologi di bidang energi terbarukan khususnya pemanas air surya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemanas Air Surya

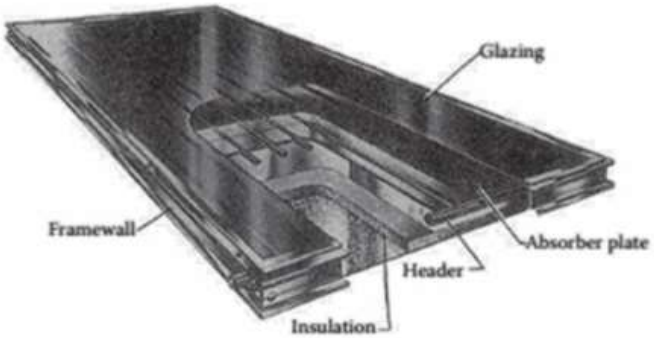
Sistem pemanas air tenaga surya adalah sebuah sistem yang menggunakan energi matahari untuk memanaskan air melalui kolektor surya yang kemudian disimpan ke dalam tangki penyimpanan. Kolektor surya digunakan untuk memanaskan fluida kerja yang mengalir kedalamnya dengan mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi panas. Kolektor surya pun 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 ke fluida yang bersirkulasi di dalam kolektor surya untuk kemudian dimanfaatkan guna berbagai aplikasi (Duffie dan Beckman, 1991).

2.1.1 Pemanas Air Surya Tipe Kolektor Plat Datar

Pemanas air surya tipe kolektor plat datar mempunyai temperatur keluaran dibawah 95^{o}C. Dalam aplikasinya kolektor plat datar digunakan untuk memanaskan udara dan air (Goswami, 1999). Keuntungan utama dari sebuah kolektor plat datar adalah bahwa memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui sorotan langsung dan sebaran, tidak memerlukan tracking matahari dan juga karena desainnya yang sederhana, hanya 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 dan Beckman, 1991).

Tipe ini dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan energi panas pada temperatur di bawah 100^{o}C. Spesifikasi tipe ini dapat dilihat dari pelat penyerapnya yang berupa plat datar yang terbuat dari material dengan konduktivitas termal tinggi, dan dilapisi dengan cat berwarna hitam. Kolektor pelat datar memanfaatkan radiasi matahari langsung dan terpencar (beam dan diffuse), tidak membutuhkan pelacak matahari, dan hanya membutuhkan sedikit perawatan. Komponen penunjang yang terdapat pada kolektor plat datar antara lain; transparent cover (glazing), absorber, insulasi, dan kerangka (frame).



Gambar 2.2 Pemanas Air Surya Tipe Kolektor Plat Datar
Sumber: Goswami, 1999

2.2 Perpindahan Panas Pada Pemanas Air Surya

Ada tiga mekanisme dasar untuk menganalisis perpindahan panas pada pemanas air surya, yaitu mekanisme konduksi, konveksi dan radiasi (Howel, 1982).

Suatu gambaran mengenai tiga cara perpindahan panas dalam sebuah alat pemanas air surya dapat dijelaskan sebagai berikut : Air dingin yang berada dalam tangki penampung mengalir masuk ke kolektor melalui pipa sirkulasi dan akan mendapatkan transfer kalor baik secara konveksi maupun radiasi akibat terperangkapnya radiasi surya dalam kolektor yang dibatasi oleh plat dan kaca bening tembus cahaya. Karena adanya transfer kalor tersebut maka suhu air di dalam pipa yang ditimpa radiasi surya langsung akan lebih tinggi dibandingkan suhu air pada bagian pipa yang lain. Perbedaan suhu air di dalam pipa ini akan menimbulkan adanya perbedaan massa jenis air, air yang bersuhu lebih tinggi memiliki massa jenis yang lebih kecil, sehingga memiliki kecenderungan untuk bergerak ke posisi yang lebih tinggi. Demikian pula air di dalam pipa yang memiliki suhu lebih rendah memiliki massa jenis yang lebih besar dan cenderung untuk bergerak ke bawah, sehingga terjadi peristiwa konveksi secara alami (Sudrajat, 2014).

2.2.1 Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan energi sebagai panas melalui sebuah proses medium stasioner seperti tembaga, air, atau udara. Di dalam benda-benda padat maka perpindahan energi timbul karena atom-atom pada temperatur yang lebih tinggi bergetar dengan lebih energetik, sehingga atom-atom tersebut dapat memindahkan energi kepada atom-atom yang lebih lesu yang berada di dekatnya dengan kerja mikroskopik, yakni panas. Di dalam logam-logam, elektron-elektron bebas juga membuat kontribusi kepada proses hantaran panas. Di dalam

sebuah cairan atau gas, molekul-molekul juga giat (mudah bergerak), dan tenaga juga dihantar oleh tumbukan-tumbukan molekul (Reynold dan Perkins, 1983).

2.2.2 Konveksi

Perpindahan panas konveksi terjadi apabila panas bergerak dari suatu tempat ke tempat lain dengan medium fluida. Perpindahan panas dengan cara ini disebut konveksi. Konveksi terjadi akibat dari perubahan panas jenis yaitu ekspansi bagian fluida yang dipanaskan. Konveksi terbagi menjadi dua. Apabila perpindahannya dikarenakan perbedaan kerapatan maka disebut konveksi alami, dan apabila perpindahannya dengan dorongan maka disebut konveksi paksa. (Reynold dan Perkins, 1983). Besarnya konveksi tergantung pada :

1) Luas permukaan benda yang bersinggungan dengan fluida (A)
2) Perbedaan suhu antara permukaan benda dengan fluida (ΔT)
3) Koefisien konveksi (hc), yang tergantung pada:
    a. Viskositas fluida
    b. Kecepatan fluida
    c. Perbedaan temperatur antara permukaan dan fluida
    d. Kapasitas panas fluida
    e. Rapat massa fluida
    f. Bentuk permukaan kontak

2.2.3 Radiasi

Perpindahan kalor radiasi adalah perpindahan tenaga oleh penjalaran (rambatan) foton yang tak terorganisir. Setiap benda yang terus memancarkan foton-foton secara serampangan di dalam arah dan waktu, dan tenaga netto yang dipindahkan oleh foton-foton ini diperhitungkan sebagai kalor. Bila foton-foton ini berada di dalam jangkauan panjang gelombang 0,38 sampai 0,76 μm, maka foton-foton tersebut mempengaruhi mata kita sebagai sinar cahaya yang tampak (dapat dilihat). Bertentangan dengan itu, maka setiap tenaga foton yang terorganisir, seperti transmissi radio, dapat diidentifikasikan secara mikroskopik dan tak dipandang sebagai kalor. (Reynold dan Perkins, 1983)

Bila foton-foton yang diradiasikan mencapai permukaan lain, maka foton-foton tersebut baik diserap, direfleksikan, maupun diteruskan melalui permukaan tersebut. Tiga sifat-sifat permukaan yang mengukur kuantitas kuantitas ini adalah:

1) α absorptivitas, bagian radiasi yang masuk yang diserap
2) ρ reflektivitas, bagian radiasi yang masuk yang direfleksikan
3) τ transmittivitas, bagian radiasi yang masuk yang ditransmisikan

2.3 Bahan Penyimpan Kalor

Penyimpan energi kalor adalah sistem atau media yang digunakan untuk menyimpan kalor dari lingkungan ke dalam sistem penyimpan. Penyimpan energi kalor bekerja saat temperatur lingkungan lebih tinggi dari sistem dan berlaku sebaliknya. Penyimpan energi kalor sangat bergantung pada karakteristik bahan

yang digunakan. Sistem penyimpan energi kalor terbagi menjadi dua, yaitu sistem penyimpan kalor sensibel dan sistem penyimpan kalor laten. Sistem penyimpan kalor sensibel bekerja pada fase perubahan temperatur dari material, sedangkan sistem penyimpan kalor laten bekerja pada fase perubahan wujud zat (padat-cair, cair-gas, padat-gas, atau sebaliknya).

Pada penyimpan kalor sensibel, energi panas disimpan dengan meningkatkan suhu dari bahan padat atau cair. Menurut Sharma dan Chen (2009) Penyimpanan kalor sensibel memanfaatkan kapasitas panas dan perubahan suhu dari bahan selama proses penyimpanan dan pelepasan panas. Jumlah panas yang disimpan oleh bahan penyimpan kalor sensibel tergantung pada panas spesifik bahan, perubahan suhu dan jumlah bahan penyimpan panas yang digunakan. Kekurangan sistem penyimpanan panas sensibel yaitu menyimpan panas rendah per satuan volume (Ataer, 2006).

Penyimpanan kalor laten memanfaatkan panas laten yang terdapat pada material untuk menyimpan energi panas. Kalor laten adalah jumlah panas yang diserap selama perubahan pada material tersebut dari satu fasa ke fasa yang lainnya. Menurut Lenel (1984), penyimpanan energi kalor laten memerlukan volume yang lebih kecil dibandingkan dengan penyimpanan energi kalor sensibel. Disamping itu penyimpanan energi kalor laten dapat menyimpan sejumlah besar energi panas dengan perubahan yang kecil pada temperature.

Material yang dimanfaatkan sebagai penyimpan kalor laten dikenal sebagai *phase change material* (PCM) (Dincer dan Rosen, 2010). PCM adalah materi yang mengalami perubahan fasa ketika menyerap dan melepaskan panas (kalor laten)

dimana struktur atau susunan kimianya tidak mengalami perubahan. Perubahan fasa inilah yang menjadi alasan utama penggunaan PCM karena pada kondisi ini temperatur PCM konstan. Material yang digunakan sebagai PCM harus memiliki panas laten yang besar dan konduktifitas termal yang tinggi. PCM tersebut juga harus memiliki temperatur titik cair yang bekerja pada rentang temperatur yang diizinkan, reaksi kimia yang stabil, biaya rendah, tidak beracun, dan tidak menyebabkan korosi (Duffie dan Beckman, 1991).

Penggunaan sistem penyimpanan panas laten menggunakan PCM adalah cara efektif untuk menyimpan energi panas. Sistem tersebut memiliki kelebihan, yaitu densitas penyimpanan energi tinggi dan keadaan yang isotermal dalam proses penyimpanannya. PCM menyimpan 5 hingga 14 kali lebih besar per unit volume daripada bahan penyimpan panas sensibel, seperti air dan batu (Sharma dan Chen, 2009). Penggunaan PCM pada susatu sistem penyimpanan kalor laten sangat perlu memperhatikan karakteristik sifat yang ada didalamnya baik sifat termal, fisik, kimia, dan tentunya dari segi ekonomi seperti yang ditujukan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Karakteristik PCM Berdasarkan Sifat-Sifatnya.

Sifat termal	Sifat fisik	Sifat kimia	Faktor ekonomi
Temperatur perubahan fasa cocok untuk pengoperasian alat	Densitas tinggi	Stabil secara kimia	Tersedia banyak
Kalor laten tiap unit massa tinggi	Perbedaan densitas rendah selama perubahan fasa berlangsung	Tidak ada dekomposisi kimia	Murah
Kalor spesifik tinggi	Pembekuan tidak memerlukan supercooling	Cocok dengan material kontainer	
Konduktivitas termal tinggi		Tidak beracun dan tidak mudah terbakar dan tidak bersifat explosive	

Sumber : Regin, dkk, 2008

2.3.1 Parafin Wax

Parafin wax merupakan salah satu PCM yang memiliki sifat densitas energi yang cukup tinggi, sifat termal stabil, tidak berbahaya, tidak reaktif dan temperatur leleh beberapa produk parafin wax bervariasi antara 8 sampai 106℃ (Nadjib dkk, 2015). Parafin memenuhi syarat sebagai bahan penyimpan panas laten karena ketersediaanya pada rentang suhu yang beragam dan mempunyai panas laten yang besar. Kelebihan parafin lainnya yaitu aman, mampu diprediksi, tidak terlalu mahal dan tidak korosif. Parafin merupakan bahan yang inert dan stabil dibawah suhu 500 ^{o}C. Di samping itu, parafin mengalami perubahan volume yang kecil ketika mencair

dan mempunyai tekanan uap yang rendah dalam bentuk cair (Sharma dan Chen, 2009).

Parafin wax diperoleh dari destilasi minyak bumi dan bukan merupakan substansi murni tetapi merupakan kombinasi dari jenis hidrokarbon yang berbeda (Akgun dkk, 2007). Parafin merupakan gabungan dari rantai-rantai lurus alkane CH_3-(CH_2)-CH_3. Kristalisasi dari rantai CH_3 menyebabkan pelepasan panas laten dalam jumlah yang besar. Panas laten dan titik leleh parafin meningkat dengan penambahan panjang rantai karbon. Kelemahan parafin wax sebagai PCM ialah nilai konduktifitas termalnya rendah. Untuk meningkatkan sifat perpindahan kalor PCM adalah dengan memberi campuran bahan aditif

Gambar 2.3 Parafin Wax.

Karakteristik termal dan fisik dari parafin wax adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Karakteristik Parafin Wax

Sifat Termal dan Fisik	Nilai
Temperatur leleh (ºC)	44
Panas laten/fusi (kJ/kg)	190
Massa jenis (kg/m3)	
• Padat	930
• Cair	830
Panas spesifik (kJ/(kg.ºC)	
• Padat	2,1
• Cair	2,1
Konduktivitas termal (W/m·K)	0,21

Sumber : Chaichan, T Miqdam, 2015

2.3.2 Pasir Silika

Banyak penelitian yang telah dilakukan dalam usaha peningkatan konduktivitas panas PCM, diantaranya dengan membubuhkan material additive. Sifat bahan aditif yang baik ialah mempunyai konduktivitas termal yang tinggi dan mudah didapatkan. Salah satu material yang memenuhi kriteria tersebut ialah pasir silika. Pasir silika cukup banyak di Indonesia dan mudah didapatkan. Selain konduktivitas termal, konsentrasi partikel juga berpengaruh terhadap karakteristik perpindahan kalor. Dengan demikian, konduktivitas termal dan konsentrasi partikel pasir silika juga berpengaruh terhadap efisiensi pemanas air surya.

Silika merupakan material yang tersedia dialam dan secara kuantitatif memiliki jumlah yang banyak. Silika merupakan salah satu senyawa oksida dengan rumus kimia SiO_2 dimana senyawa ini memiliki daya tahan terhadap temperatur,

dan stabilitas termal yang tinggi (Katsuki, 2005). Silika biasanya diperoleh melalui proses penambangan yang di mulai dari menambang pasir kuarsa sebagai bahan baku.

Pasir silika sangat banyak dan mudah didapatkan di Indonesia. Menurut Prayogo (2009), hasil pemantauan Biro Pusat Statistik dalam kurun waktu 1981-1993, konsumsi pasir silika meningkat sekitar 24,70% per tahun. Sementara itu, hasil survei Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dalam kurun waktu yang sama, produksi pasir silika meningkat sekitar 28,30% per tahun. Peningkatan produksi ini karena didukung pula oleh sumber daya pasir silika yang sangat melimpah. Sifat-sifat fisik pasir mineral silika adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Karakteristik pasir silika

Karakteristik	**Nilai**
Konduktivitas termal (W/m.K)	1,89 - 3,61
Konduktivitas listrik (S/cm)	10^{-12}
Kekerasan (kgf/mm2)	650
Densitas (gr/cm3)	2,6
Titik lebur (°C)	1600

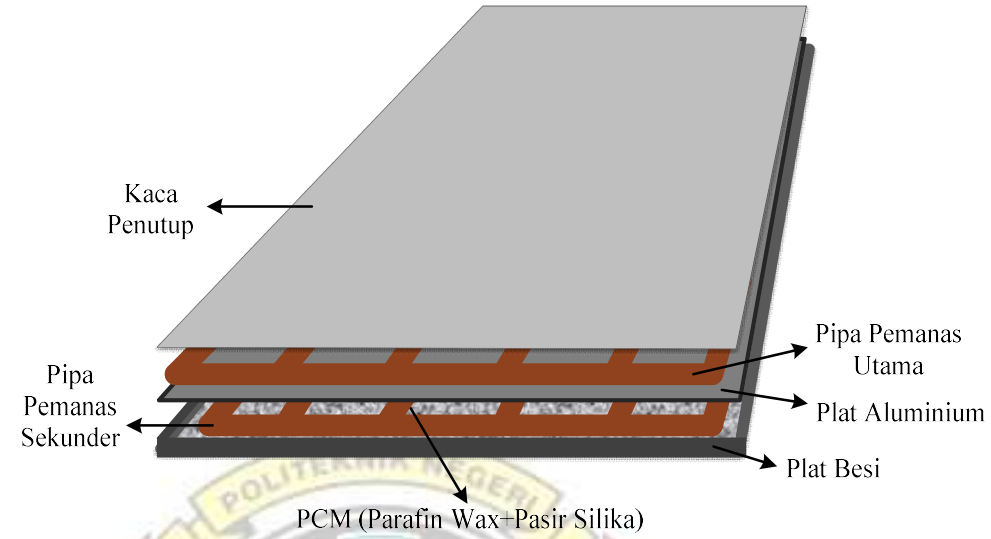
sumber: Surdia dkk, 2000

Gambar 2.4 Pasir Silika.

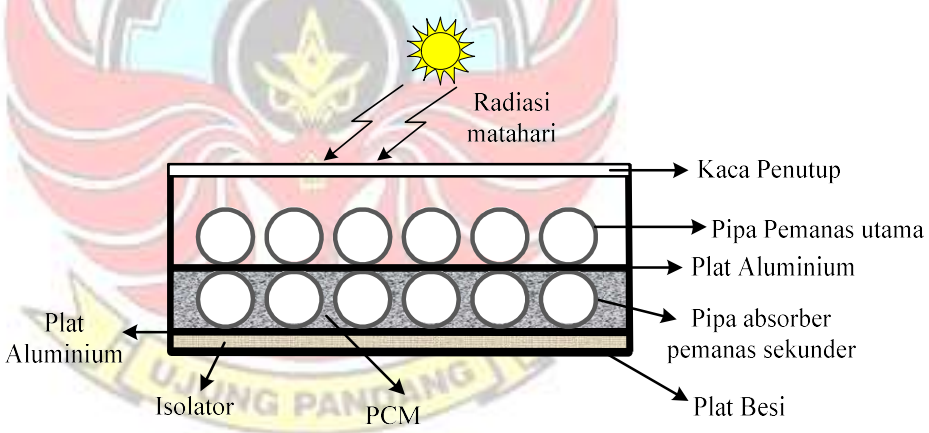
2.4 Peningkatan Efisiensi Pemanas Air Surya

Efisiensi kolektor surya adalah perbandingan panas yang diserap oleh`fluida atau energi berguna dan intensitas matahari yang mengenai kolektor. Menurut Sutomo (2012) dalam proses perpindahan kalor pada pemanas air surya terdapat dua daerah terjadinya rugi-rugi atau kehilangan kalor yaitu pada bagian atas dan bagian bawah plat kolektor. Pada bagian atas terjadi kehilangan kalor karena konveksi dan radiasi, sedangkan pada bagian bawah terjadi karena konduksi. Rugi-rugi kalor karena konduksi dari plat absorber dilepaskan ke panel bawah (isolator). Rugi-rugi energi inilah yang akan dimanfaatkan untuk meningkat efisiensi pemanas air surya. Metode yang diterapkan ialah menyerap rugi-rugi kalor melalui paduan PCM dari hibrid parafin wax-pasir silika, kemudian kalor tesebut ditransfer ke air yang ada dalam pipa absorber pemanas sekunder. Dengan demikian, efesiensi pemanas air surya dapat ditingkatkan.

Adapun gambar desain pemanas sekunder dalam pemanas air surya sebagai berikut:



Gambar 2.5 Diagram Rangkaian Pemanas Air Surya.



Gambar 2.6 Pipa Absorber sebagai Pemanas Sekunder.

2.5 Perhitungan Efisiensi Pemanas Air Surya

Efisiensi dari pemanas air surya dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara panas yang berguna dari kolektor ke air dengan energi yang diterima

kolektor. Prinsip dasar untuk menghitung efisiensi pemanas air surya adalah dengan membandingkan besar kenaikan temperature fluida yang mengalir di dalam kolektor dengan intensitas cahaya matahari yang diterima kolektor.

1) Energi input sistem kolektor (Q_{in})

Energi input sistem kolektor dapat diketahui dari persamaan dibawah ini :

$$Q_{in} = G_{bt} \times A_s \quad \text{.....(2.1)}$$

(Duffie dan Beckman, 1991 hal : 237)

Dimana :

Q_{in} : Energi input sistem kolektor (Watt)

G_{bt} : Pancaran radiasi matahari kumulatif (Wh/m^2)

A_s : Luas permukaan kolektor (m^2)

Luas permukaan kolektor dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$A_s = L_k \times P_k \quad \text{.....(2.2)}$$

Dimana :

L_k : Lebar kolektor (m)

P_k : Panjang kolektor (m)

2) Energi output sistem kolektor (Q_{abs})

Energi output sistem kolektor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{abs} = \frac{V_k \times \rho_w \times C_p (T_{fo} - T_{fi})}{t} \quad \text{.....(2.3)}$$

(Duffie dan Beckman, 1991 hal : 238)

Dimana :

Q_{abs} : Energi output sistem kolektor (Watt)

V_k : Volume kolektor (m^3)

ρ_w : Massa jenis air (kg/m^3)

C_p : Kapasitas panas spesifik air (J/kg^0C)

T_{fi} : Temperatur air masuk kolektor (^0C)

T_{fo} : Temperatur air keluar kolektor (^0C)

t : Waktu pengamatan (s)

Volume kolektor dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$V_k = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times P_p \times J_p \quad \text{.....(2.4)}$$

Dimana :

d : Diameter pipa (m)

P_p : Panjang pipa (m)

J_p : Jumlah pipa (m)

3) Efisiensi aktual sesaat pemanas air surya

Efisiensi dari pemanas air surya dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara panas yang berguna dari kolektor dengan intensitas dari radiasi surya.

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_{in}} \times 100\% = \frac{\frac{V_k \times \rho_w \times C_p (T_{fo} - T_{fi})}{t}}{G_{bt} \times A_s} \times 100\% \quad \text{.....(2.5)}$$

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang selama 4 bulan, yaitu dari bulan Februari 2019 sampai Agustus 2019. Penelitian ini diawali dengan perancangan pemanas air surya, pembuatan dan pengujian pemanas air surya, serta evaluasi dan penyempurnaan pemanas air surya, selanjutnya dilakukan pengambilan dan analisis data. Adapun pengujian konduktivitas termal (k) dan difusivitas termal (α) PCM (hibrid paraffin wax-pasir silika) dilakukan dengan Transient Hot Bridge (THB) di Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah *sensor termokopel tipe K* untuk mengukur temperatur air, kabel sebagai alat penghubung antara sensor, piranometer untuk mengukur intensistas radiasi matahari dan termometer ruangan untuk mengukur suhu ruangan/lingkungan serta alat uji *Transient Hot Bridge* (THB) untuk memperoleh nilai konduktivitas termal.

Bahan yang digunakan dalam pengujian ini yaitu kolektor pemanas air surya tipe plat datar dengan dua rangkaian pipa absorber, material penyimpan panas

(PCM) hibrid parafin wax dengan pasir silika dengan konsetrasi pasir silika 1%, 3% dan 5%.

3.3 Prosedur/ Langkah Kerja

3.1.1 Pengujian Sifat Material Penyimpan Kalor

Pengujian konduktivitas termal (k) PCM (hibrid parafin wax-pasir silika) dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin. Adapun prosedur pengujian yang akan dilakukan, yaitu :

1) Membuat sampel pengujian berupa parafin wax dan pasir silika dengan konsentrasi 1%, 3%, dan 5%.
2) Memasukkan sampel pengujian ke alat uji
3) Mengatur daya pemanasan dan waktu pemanasan
4) Mencatat hasil pengujian berupa nilai konduktivitas termal (k)
5) Langkah pengujian (2) sampai dengan (4) dilakukan untuk setiap campuran paraffin wax dan pasir silika dengan konsentrasi pasir silika 1%, 3%, dan 5%.

3.1.2 Pengujian Unjuk Kerja Pemanas Air Surya

Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan metode efisiensi sesaat untuk mengetahui unjuk kerja sistem kolektor surya. Kolektor yang digunakan ialah plat datar dengan dua rangkaian pipa absorber yang disusun dari bawah ke atas. Rangkaian pipa absosrber masing-masing menggunakan 6 pipa tembaga dengan diameter ϕ = ½” dan panjang 130 cm. Pipa absorber bagian atas merupakan

pemanas utama, sedangkan bagian bawah befungsi sebagai pemanas sekunder. Pada sela-sela pipa bagian bawah diisi PCM (hibrid parafin wax-pasir silika) untuk meningkatkan efisiensi pemanas air surya. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan termokopel tipe K, sedangkan intensitas radiasi matahari diukur dengan menggunakan piranometer.

Adapun prosedur pengujian yang akan dilakukan, yaitu :

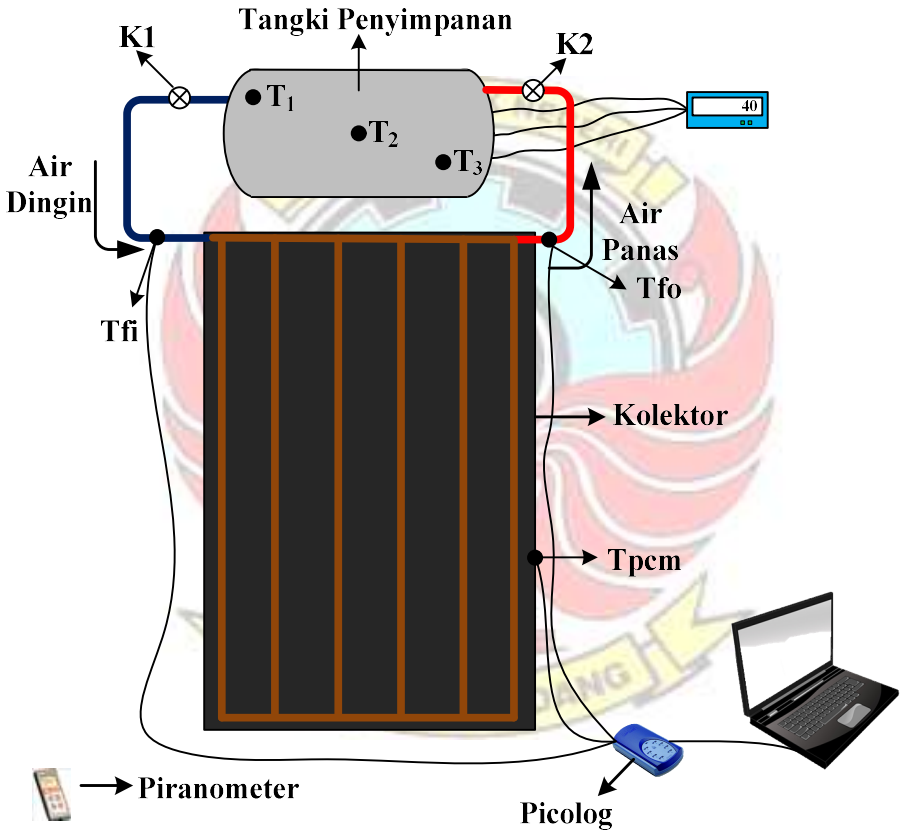
1) Kolektor diarahkan ke utara dihadapkan pada posisi sumbu utara-selatan dengan sudut kemiringan kolektor 6^{o} sudut kemiringan kolektor ini disesuaikan dengan posisi lintang lokasi penelitian yaitu 5°30'18" sampai dengan 5°14’49"LS.
2) Mengisi tangki penyimpanan dengan air sebanyak 60 liter
3) Waktu pengukuran mulai jam 9.10 sampai jam 16.00 WITA.
4) Membuka katup 1 (K1) sirkulasi untuk mengalirkan air bertemperatur rendah dari tangki penyimpanan ke pipa kolektor bagian bawah sampai semua pipa terisi.
5) Dengan memanfaatkan sirkulasi alamiah yaitu termosipon, maka air yang bertemperatur tinggi akan mengalir ke kolektor utama.
6) Membuka katup 2 (K2) pada kolektor utama untuk mengalirkan air yang bertemperatur tinggi ke tangki penyimpanan.
7) Menjaga kondisi pengujian stabil (tunak).
8) Mencatat intensitas radiasi surya (W/m^2), temperatur masuk dan keluar kolektor (^{0}C), temperatur air rata-rata dalam tangki (^{0}C), waktu pengukuran (jam).

9) Pencatatan parameter pengujian diatas diulangi setiap selang waktu 10 menit.

10) Pengujian dilakukan selama lima hari.

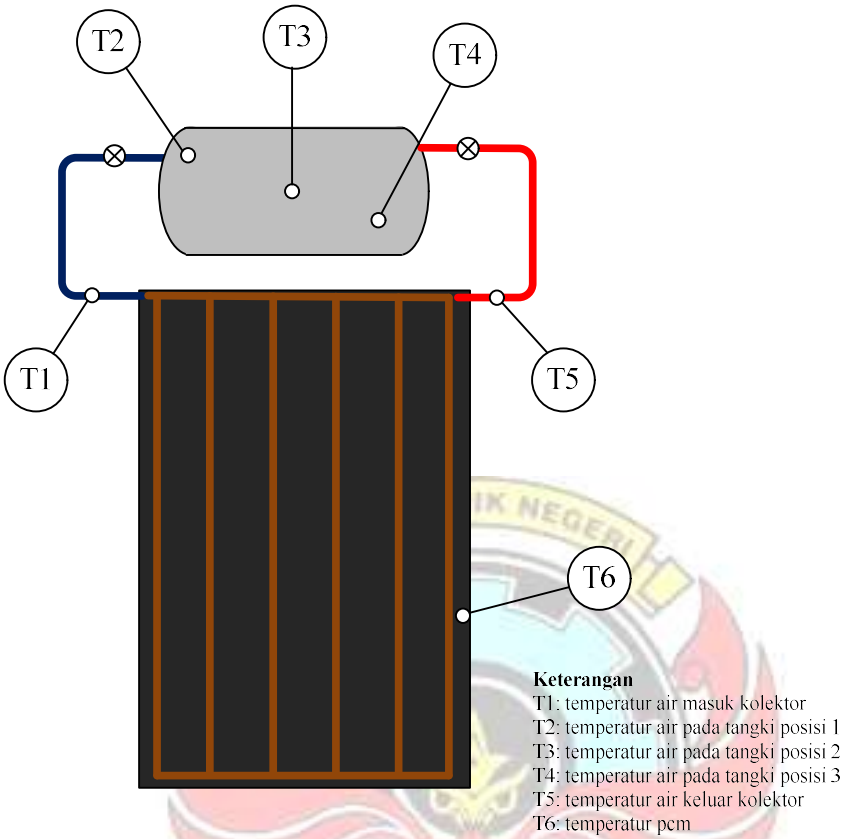
11) Langkah pengujian (1) sampai dengan (10) dilakukan untuk campuran paraffin wax dan pasir silika dengan konsentrasi pasir silika 5%.

Diagram pengujian dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Uji Unjuk Kerja Pemanas Air Surya

Adapun skema penempatan alat ukur pada pengujian kolektor surya sebagai berikut :



Gambar 3.2 Posisi penempatan sensor temperatur.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

3.4.1 Pengujian Sifat Material Penyimpan Kalor

Teknik pengumpulan data yang dilakukan pada pengujian ini yaitu sebagai berikut :

Melakukan pengujian sampel dan mencatat data-data yang diperoleh. Pengambilan data akan dilakukan pada campuran parafin wax dengan pasir silika dengan konsentrasi 1%, 3%, dan 5% .

Data atau informasi yang diperoleh pada skema pegujian ini yaitu konduktivitas termal (W/mK). Data tersebut dibutuhkan untuk mengetahui sifat termal paraffin wax dengan pasir silika sebagai material penyimpan panas laten.

3.4.2 Pengujian Unjuk Kerja Pemanas Air Surya

Teknik pengumpulan data yang dilakukan pada pengujian ini yaitu sebagai berikut :

Melakukan pengamatan langsung dan mencatat data-data yang diperlukan. Pengambilan data akan dilakukan selama 5 hari. Pengambilan data dilakukan setiap selang 10 menit selama 8 jam mulai pukul 09.10 sampai 16.00 WITA. Berikut data atau informasi yang dibutuhkan pada skema pegujian yang terdapat di bawah ini

1) intensitas radiasi surya (W/m^2)
2) temperatur air masuk kolektor surya (^0C)
3) temperature air keluar kolektor surya (^0C)
4) temperatur air rata-rata dalam tangki (^0C)
5) waktu pengukuran (jam)

Data di atas dibutuhkan untuk mengetahui unjuk kerja sistem pemanas air surya.

3.5 Teknik Analisis Data

3.5.1 Pengujian Sifat Material Penyimpan Kalor

Analisis data dilakukan untuk mengetahui sifat termal paraffin wax dengan pasir silika sebagai material penyimpan panas laten. Adapun tahapan yang digunakan pada teknik analisis data yaitu sebagai berikut :

1) Menginput data yang diperoleh dari hasil pengujian berupa konduktivitas termal (W/mK).
2) Melakukan analisis data berupa berbandingan sifat termal yang telah diperoleh pada campuran pasir silika dan paraffin wax dengan konsentrasi 1%, 3%, dan 5%.

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada diagram alir dari penelitian yang dilakukan. Mulai dari proses pengumpulan data hingga analisis data sehingga diperoleh kesimpulan pada penelitian ini.

3.5.2 Pengujian Unjuk Kerja Pemanas Air Surya

Analisis data dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja yang dihasilkan sistem pemanas air surya. Adapun tahapan yang digunakan pada teknik analisis data yaitu sebagai berikut :

1) Menginput data yang diperoleh dari hasil pengujian berupa :
   a) Intensitas radiasi surya, G_{bt} (W/m^2)
   b) Temperatur air masuk kolektor surya, T_{fi} (^0C)
   c) Temperature air keluar kolektor surya, T_{fo} (^0C)

d) Temperatur air dalam tangki, (^{0}C)

e) Waktu pengukuran (jam)

2) Mengolah data yang telah diinput sebelumnya agar diperoleh data

a) Luas permukaan kolektor, A_s (m^2)

b) Volume kolektor, V_k (m^3)

c) Temperatur air rata-rata di dalam kolektor, T_{rk} (^{0}C)

d) Massa jenis air, ρ_w (kg/m^3)

e) Kapasitas panas spesifik air, C_p (J/kg^{0}C)

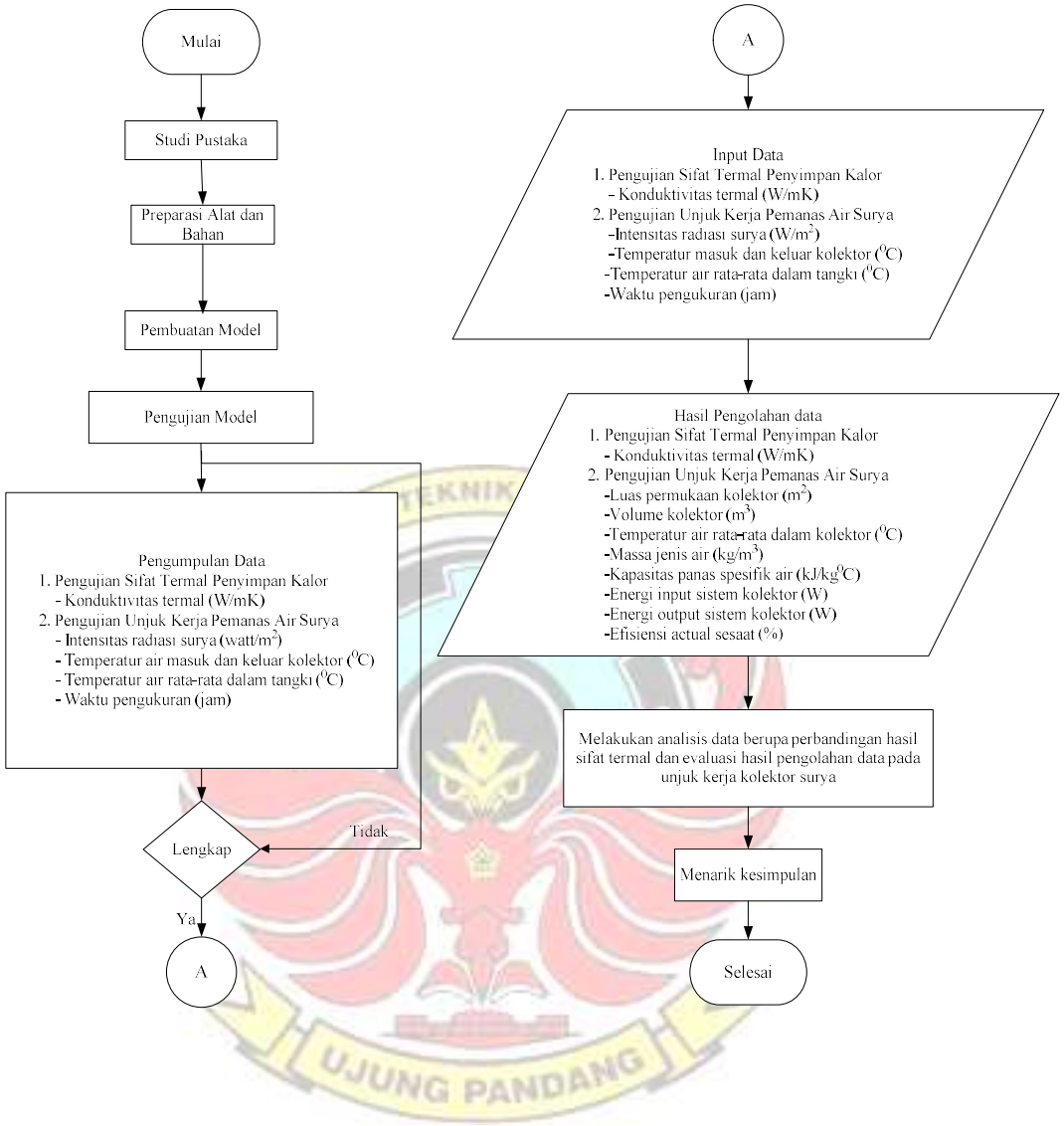
f) Energi input sistem kolektor, Q_{in} (W)

g) Energi output sistem kolektor, Q_{abs} (W)

h) Efisiensi sesaat pemanas air surya, η (%)

3) Melakukan analisis data berupa evaluasi dari hasil perhitungan yang telah diperoleh.

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada diagram alir dari penelitian yang dilakukan. Mulai dari proses pengumpulan data hingga analisis data sehingga diperoleh kesimpulan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.



Gambar 3.3 Flowchart kegiatan penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Data Hasil Pengujian

1) Pengujian Sifat Material Penyimpan Kalor

Tabel 4.1 Data Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 1%.

t (min)	Atas			Bawah		
	T1 (^{0}C)	T2 (^{0}C)	T3 (^{0}C)	T1 (^{0}C)	T2 (^{0}C)	T3 (^{0}C)
0	29	29	29	29.6	29.2	29.1
5	36.2	36.2	36.3	28.4	28.5	28.7
10	40	40	39.9	28.6	28.7	28.8
15	40.3	40.3	40.3	29.3	29.3	29.3
20	40.6	40.7	40.7	29.9	29.9	29.9
25	40.6	40.6	40.5	30.5	30.4	30.2
30	40.2	40.2	40.1	30.9	30.9	30.8
35	40	40.1	40.1	31.2	31.2	30.9
40	39.9	40	40	31.4	31.3	31.2

Untuk data hasil pengujian konduktivitas termal PCM hibrid parafin wax dengan pasir silika pada konsentrasi 3% dan 5% dapat dilihat pada lampiran 1

2) Pengujian Unjuk Kerja Pemanas Air Surya

a) Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika

Data hasil pengujian pemanas air surya dengan PCM hybrid parafin wax dengan pasir silika pada hari ke-1 11 Juli 2019 dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-1 11 Juli 2019.

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
1.	09.10	679	27,33	33,56	42,8	27	28	29
2.	09.20	681,4	29,4	35,78	44,01	27	28	29
3.	09.30	706	32,38	39,71	46,17	26	28	28
4.	09.40	734,2	34,4	43,54	47,44	26	28	28
5.	09.50	764,3	36,22	46,16	48,98	26	28	28
6.	10.00	785,7	37,9	47,34	50,64	26	28	29
7.	10.10	830,7	38,24	48,23	49,48	26	28	29
8.	10.20	856,1	37,02	49,31	50,99	27	28	29
9.	10.30	883,2	38,48	50,89	52,47	27	28	29
10.	10.40	886,4	38,72	50,87	52,93	27	28	29
11.	10.50	909,9	39,09	51,65	53,43	27	28	29
12.	11.00	932	39,2	52,41	54,19	27	28	29
13.	11.10	946,3	40,43	53,45	55,81	27	28	29
14	11.20	328,9	38,75	50,89	58,94	27	28	29
15.	11.30	1010	40,7	54	61,87	27	28	30
16.	11.40	1037	42,53	54,74	62,65	27	29	30
17.	11.50	1007	41,55	53,01	62,31	27	29	30
18.	12.00	1054	42,08	54,58	64,8	27	29	30
19.	12.10	328,5	38,48	50,43	61,08	28	29	30
20.	12.20	1146	36,7	43,76	62,27	28	30	30
21.	12.30	1120	37,74	44,45	64,8	28	30	30
22.	12.40	903,4	38,14	44,98	66,49	28	30	31
23.	12.50	1071	38	45,98	67,26	28	30	31
24.	13.00	266,7	40,05	46,6	61,32	28	30	31
25.	13.10	980	41,88	49,45	67,34	28	30	31
26.	13.20	1022	43,65	55,18	69,03	28	30	31
27.	13.30	262,1	44,77	50,77	70,61	28	31	31
28.	13.40	235,2	43,35	49,33	69,14	28	31	31
29.	13.50	373,3	41,72	47,41	65,73	29	31	31

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin WaxDengan Pasir Silika Pada Hari Ke-1 11 Juli 2019 (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
30.	14.00	216,2	40,27	45,06	61,17	29	32	31
31.	14.10	222	39,06	43,88	57,98	29	32	31
32.	14.20	249,4	38,38	43,68	55,34	29	32	31
33.	14.30	215,5	38,51	43,98	54,42	29	32	31
34.	14.40	774,6	39,29	44,89	55,39	29	32	31
35.	14.50	842,4	40,01	45,38	55,55	29	33	31
36.	15.00	799,5	40,16	46,14	54,7	29	33	31
37.	15.10	699,8	39,76	46,04	55,74	29	33	31
38.	15.20	592,5	39,01	44,34	56,99	29	30	31
39.	15.30	297,5	37,54	44,01	56,01	29	31	31
40.	15.40	161,8	35,88	43,89	55,03	29	30	31
41.	15.50	309,5	33,39	42,21	53,6	29	30	31
42.	16.00	174,8	32,77	40,35	53,13	29	30	31

Berdasarkan hasil data pengujian yang diperoleh terdapat perbedaan temperatur antara nilai temperatur masuk kolektor (T_{fi}) dengan nilai temperatur tangki (T_1, T_2 dan T_3), dimana dibeberapa waktu pengamatan diperolah nilai T_{fi} cenderung lebih besar dibanding dengan nilai T_1, T_2 dan T_3. Hal ini dapat disebabkan akibat penempatan sensor yang tidak akurat sehingga menyebabkan nilai T_{fi} yang diperoleh kurang akurat.

Untuk data hasil pengujian pemanas air surya dengan PCM hybrid parafin wax dengan pasir silika pada hari berikutnya secara lengkap dapat dilihat pada lampiran 2.

b) Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax

Data hasil pengujian pemanas air surya dengan PCM parafin wax pada hari ke-1 dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-1.

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
1.	09.10	583	30	34	39,75	27,25	27,25	27,25
2.	09.20	420	33	34	39,75	27,25	27,25	27,25
3.	09.30	631	32	34	41,25	27,25	27,25	28,25
4.	09.40	592	35	36	43	27,25	27,25	28,5
5.	09.50	588	34	36	46,25	27,25	27,25	28,75
6.	10.00	652	34	36	50	27,25	27,25	28,75
7.	10.10	660	38	41	50	27,25	27,25	28,75
8.	10.20	818	30	44	50	27,25	27,25	28,75
9.	10.30	852	30	44	50	27,25	27,25	28,75
10.	10.40	935	32	46	50	27,25	27,25	28,75
11.	10.50	1015	32	47	50	27,25	27,25	28,75
12.	11.00	891	30	46	50	27,25	27,25	28,75
13.	11.10	592	30	42	50	27,25	27,25	28,75
14	11.20	693	30	38	50	27,25	27,25	28,75
15.	11.30	531	30	36	50	27,25	27,25	28,75
16.	11.40	993	30	38	50	27,25	27,25	28,75
17.	11.50	222	30	38	69,5	28,25	28,75	30,5
18.	12.00	836	32	40	69,5	28,25	28,75	30,5
19.	12.10	826	32	42	69,5	28,25	28,75	30,5
20.	12.20	925	32	44	69,5	28,25	28,75	30,5
21.	12.30	944	32	46	69,5	28,25	28,75	30,5
22.	12.40	953	32	48	69,5	28,25	28,75	30,5
23.	12.50	972	32	46	69,5	28,25	28,75	30,5
24.	13.00	909	32	47	68	28,25	28,75	30,75
25.	13.10	596	30	46	64,5	28,25	28,75	30,5
26.	13.20	270	30	42	61,25	28,25	29	30,25

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-1 (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
27.	13.30	345	30	40	59,5	28,5	29	30
28.	13.40	265	30	40	59,5	28,5	29	30
29.	13.50	213	32	38	59,5	28,5	29	30
30.	14.00	540	32	38	59,5	28,5	29	30
31.	14.10	107	30	36	59,5	28,5	29	30
32.	14.20	139	30	36	54,25	28,75	29,25	30,25
33.	14.30	121	30	31	53,5	28,75	29,25	30
34.	14.40	107	28	30	52,25	28,75	29,25	29,75
35.	14.50	102	28	30	50,75	28,75	29	29,25
36.	15.00	93	28	30	49,5	28,75	29	29
37.	15.10	79	28	30	48,25	28,75	29	29
38.	15.20	56	26	30	48	28,75	29	29
39.	15.30	54	26	30	48	28,75	29	29
40.	15.40	50	26	30	48	28,75	29	29
41.	15.50	41	26	30	48	28,75	29	29
42.	16.00	42	26	30	42	28,75	28,75	28,75

Sumber : Darmawati dan Mahdyah, 2016

Untuk data hasil pengujian pemanas air surya dengan PCM parafin wax pada hari berikutnya secara lengkap dapat dilihat pada lampiran 3

4.1.2 Hasil Analisis Data

1) Pengujian Sifat Material Penyimpan Kalor

Dengan mengambil data pengujian konduktivitas termal PCM hibrid parafin wax dengan pasir silika 1%.

Diketahui :

Laju perpindahan kalor,q = 14 W

Luas Penampang,A = 0,005 m^2

Perbedaan Temperatur pada titik1,ΔT_1 = 282,70 K

Perbedaan Temperatur pada titik1,ΔT_2 = 282,74 K

Perbedaan Temperatur pada titik1,ΔT_3 = 282,76 K

Ketebalan sampel, x = 0,0215 m

Penyelesaian :

a) Titik 1

$$q = -k_1 . A . \frac{\Delta T_1}{x}$$

$$k_2 = \frac{q . x}{\Delta T_1 . A} = \frac{14\ W . 0{,}0215\ m}{282{,}70\ K . 0{,}005\ m^2} = 0{,}21295\ {}^{W}/_{mK}$$

b) Titik 2

$$q = -k_2 . A . \frac{\Delta T_2}{x}$$

$$k_2 = \frac{q . x}{\Delta T_2 . A} = \frac{14\ W . 0{,}0215\ m}{282{,}74\ K . 0{,}005\ m^2} = 0{,}21292\ {}^{W}/_{mK}$$

c) Titik 3

$$q = -k_3 . A . \frac{\Delta T_3}{x}$$

$$k_3 = \frac{q . x}{\Delta T_3 . A} = \frac{14\ W . 0{,}0215\ m}{282{,}76\ K . 0{,}005\ m^2} = 0{,}21290\ {}^{W}/_{mK}$$

d) Konduktivitas termal PCM hybrid parafin wax dengan pasir silika 1 %

$$k = \frac{k_1 . k_2 . k_3}{3}$$

$$k = \frac{0{,}21295 \times 0{,}21292 \times 0{,}21290}{3} = 0{,}213$$

Hasil analisis data Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 1% dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini :

Tabel 4.4 Data Hasil Analisis Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 1%.

Titik Pengukuran	ΔT (K)	K (W/mK)
Titik 1	282,70	0,21295
Titik 2	282,74	0,21292
Titik 3	282,76	0,21290
k		0,21292

Untuk data hasil pengujian sifat termal material penyimpan kalor PCM hibrid parafin wax dengan pasir silika pada konsentrasi 3% dan 5% secara lengkap dapat dilihat pada lampiran 4

2) Pengujian Unjuk Kerja Pemanas Air Surya

a) Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika

Dengan mengambil data pengujian pada hari pertama, yaitu data No 41 pada Tabel 4.2 sebagai acuan analisa.

Diketahui :

Intensitas radiasi matahari, G_{bt} = 309,5 W/m^2

Temperatur air keluar kolektor, T_{fo} = 42,21 ^{0}C

Temperatur air masuk kolektor, T_{fi} = 33,39 ^{0}C

Lebar kolektor, L_k = 0,7425 m

Panjang kolektor,P_k = 1,53 m

Diameter pipa,d = 0,0127 m

Panjang pipa,P_p = 1,3 m

Jumlah pipa,J_p = 6

Waktu pengamatan,t = 600 s

Penyelesaian :

a) Luas permukaan kolektor, A_s (m^2)

$$A_s = L_k \times P_k$$

$$= 0{,}7425\ m \times 1{,}53\ m$$

$$= 1{,}136\ m^2$$

b) Volume kolektor, V_k (m^3)

$$V_k = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times P_p \times J_p$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}0127^2 m \times 1{,}3\ m \times 6$$

$$= 0{,}000989\ m^3$$

c) Temperatur air rata-rata di dalam kolektor, T_{rk} (^{0}C)

$$T_{rk} = \frac{T_{fo} + T_{fi}}{2}$$

$$= \frac{42{,}21℃ + 33{,}39℃}{2}$$

$$= 37{,}8℃$$

d) Massa jenis air, ρ_w (kg/m^3)

Berdasarkan Lampiran 7 Tabel Sifat-sifat fisik air pada T_{rk} = 37,8℃ dengan cara interpolasi diperoleh nilai ρ_w= 993,042 kg/m^3.

e) Kapasitas panas spesifik air, C_p (J/kg^{0}C)

Berdasarkan Lampiran 7 Tabel Sifat-sifat fisik air pada T_{rk} = 37,8℃ dengan cara interpolasi diperoleh nilai C_p = 4178 kg/m^3.

f) Energi input sistem kolektor, Q_{in} (W)

$$Q_{in} = G_{bt} \times A_s$$

$$= 309{,}5\ \text{W/m}^2 \times 1{,}136\ m^2$$

$$= 351{,}6\ \text{W}$$

g) Energi output sistem kolektor, Q_{abs} (W)

$$Q_{abs} = \frac{V_k \times \rho_w \times C_p(T_{fo} - T_{fi})}{t}$$

$$= \frac{0{,}000989\ m^3 \times 993{,}042\ \frac{kg}{m^3} \times 4178 J/kg℃(42{,}21℃ - 33{,}39℃)}{600\ s}$$

$$= 60{,}262\ W$$

h) Efisiensi sesaat pemanas air surya, η (%)

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$= \frac{60{,}262\ W}{351{,}6\ W} \times 100\%$$

$$= 17{,}139\ \%$$

Untuk hasil analisa data yang lain dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini :

Tabel 4.5 Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Wax
Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-1 (11 Juli 2019).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{out} (W)	η (%)
1.	09.10	645	30,445	995,596	4178	771,361	42,676	5,533
2.	09.20	703,2	32,59	995,411	4178	774,087	43,695	5,645
3.	09.30	700,4	36,045	993,671	4178	802,034	50,114	6,248
4.	09.40	735,6	38,97	992,609	4178	834,070	62,421	7,484
5.	09.50	770,3	41,19	991,759	4180	868,264	67,859	7,816
6.	10.00	863	42,62	991,192	4180	892,575	64,409	7,216
7.	10.10	868,6	43,235	993,627	4180	943,696	68,329	7,241
8.	10.20	840	43,165	990,222	4180	972,551	83,773	8,614
9.	10.30	871,6	41,185	993,160	4178	1003,337	77,968	7,771
10.	10.40	865,4	40,795	993,062	4178	1006,973	69,351	6,887
11.	10.50	894,7	39,87	992,843	4178	1033,669	51,643	4,996
12.	11.00	912,2	38,805	992,670	4178	1058,775	35,584	3,361
13.	11.10	919,9	38,94	992,620	4178	1075,020	34,284	3,189
14	11.20	943,9	38,82	993,371	4178	373,639	41,965	11,231
15.	11.30	949,9	39,35	992,466	4178	1147,385	36,191	3,154
16.	11.40	955,5	40,135	992,887	4178	1178,058	49,254	4,181
17.	11.50	968,2	40,28	992,556	4178	1143,977	50,945	4,453
18.	12.00	965,1	40,33	992,092	4179	1197,370	44,379	3,706
19.	12.10	969,7	40,455	993,122	4179	373,184	40,666	10,897
20.	12.20	968,7	40,23	992,618	4178	1301,885	48,217	3,704
21.	12.30	1007	41,095	992,067	4179	1272,348	45,812	3,601
22.	12.40	988,1	41,56	992,537	4178	1026,285	46,710	4,551
23.	12.50	988,7	41,99	992,437	4178	1216,683	54,490	4,479
24.	13.00	946,4	43,325	990,139	4180	302,978	44,643	14,735
25.	13.10	945,2	45,665	990,915	4180	1113,305	51,636	4,638
26.	13.20	925,6	49,415	988,303	4180	1161,018	78,440	6,756
27.	13.30	881,01	47,77	989,031	4180	297,752	40,849	13,719
28.	13.40	860,7	46,34	990,935	4180	267,193	40,791	15,266
29.	13.50	835	44,565	990,397	4180	424,078	38,792	9,147
30.	14.00	811,9	42,665	991,174	4180	245,609	32,682	13,306

Tabel 4.5 Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-1 (11 Juli 2019) (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{out} (W)	η (%)
31.	14.10	695,8	41,47	991,649	4179	252,198	32,894	13,043
32.	14.20	249,4	41,03	992,144	4179	283,325	36,188	12,773
33.	14.30	215,5	41,245	992,144	4179	244,813	37,349	15,256
34.	14.40	774,6	42,09	991,404	4180	879,965	38,217	4,343
35.	14.50	842,4	42,695	991,162	4180	956,987	36,638	3,829
36.	15.00	799,5	43,15	990,978	4180	908,252	40,793	4,491
37.	15.10	699,8	42,9	991,800	4180	794,990	42,875	5,393
38.	15.20	592,5	41,675	991,568	4180	673,095	36,380	5,405
39.	15.30	297,5	40,775	991,920	4179	337,967	44,167	13,068
40.	15.40	161,8	39,885	992,263	4179	183,809	54,698	29,758
41.	15.50	309,5	37,8	993,042	4178	351,600	60,262	17,139
42.	16.00	174,8	36,56	993,489	4178	198,577	51,813	26,092

Untuk data hasil analisis pengujian pemanas air surya dengan PCM hybrid parafin wax dengan pasir silika pada hari berikutnya secara lengkap dapat dilihat pada lampiran 5.

b) Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax

Dengan mengambil data pengujian pada hari pertama, yaitu data No 1 pada Tabel 4.3 sebagai acuan analisa.

Diketahui :

Intensitas radiasi matahari, G_{bt} = 583 W/m^2

Temperatur air keluar kolektor, T_{fo} = 34 ^0C

Temperatur air masuk kolektor, T_{fi} = 30 ^0C

Lebar kolektor, L_k = 1 m

Panjang kolektor, P_k = 2 m

Diameter pipa, d = 0,0127 m

Panjang pipa, P_p = 1,8 m

Jumlah pipa, J_p = 8

Waktu pengamatan,t = 600 s

Penyelesaian :

a) Luas permukaan kolektor, A_s (m^2)

$$A_s = L_k \times P_k$$
$$= 1\ m \times 2\ m$$
$$= 2\ m^2$$

b) Volume kolektor, V_k (m^3)

$$V_k = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times P_p \times J_p$$
$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}0127^2 m \times 1{,}8\ m \times 8$$
$$= 0{,}001825\ m^3$$

c) Temperatur air rata-rata di dalam kolektor, T_{rk} (^{0}C)

$$T_{rk} = \frac{T_{fo} + T_{fi}}{2}$$
$$= \frac{34℃ + 30℃}{2}$$
$$= 32℃$$

d) Massa jenis air, ρ_w (kg/m^3)

Berdasarkan Lampiran 7 Tabel Sifat-sifat fisik air pada T_{rk} = 32℃ dengan cara interpolasi diperoleh nilai ρ_w= 995,2 kg/m^3.

e) Kapasitas panas spesifik air, C_p (J/kg^{0}C)

Berdasarkan Lampiran 7 Tabel Sifat-sifat fisik air pada T_{rk} = 32℃ dengan cara interpolasi diperoleh nilai C_p = 4178 kg/m^3.

f) Energi input sistem kolektor, Q_{in} (W)

$$Q_{in} = G_{bt} \times A_s$$

$$= 583 \text{ W/m}^2 \times 2\ m^2$$

$$= 1166 \text{ W}$$

g) Energi output sistem kolektor, Q_{abs} (W)

$$Q_{abs} = \frac{V_k \times \rho_w \times C_p(T_{fo} - T_{fi})}{t}$$

$$= \frac{0{,}001825\ m^3 \times 995{,}2\ \frac{kg}{m^3} \times 4178 J/kg℃(34℃ - 30℃)}{600\ s}$$

$$= 50{,}59\ W$$

h) Efisiensi sesaat pemanas air surya, η (%)

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$= \frac{50{,}59\ W}{1166\ W} \times 100\%$$

$$= 4{,}34\ \%$$

Untuk hasil analisa data yang lain dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini :

Tabel 4.6 Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-1.

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{out} (W)	η (%)
1.	09.10	583	32	995,2	4178	1166	50,59	4,34
2.	09.20	420	33,5	994,6	4178	840	12,64	1,50
3.	09.30	631	33	994,8	4178	1262	25,28	2,00
4.	09.40	592	35,5	994,6	4178	1184	12,64	1,07
5.	09.50	588	35	994	4178	1176	25,26	2,15
6.	10.00	652	35	994	4178	1304	25,26	1,94
7.	10.10	660	39,5	992,2	4178,9	1320	37,84	2,87
8.	10.20	818	37	993,2	4178,4	1636	176,72	10,80
9.	10.30	852	37	993,2	4178,4	1704	176,72	10,37
10.	10.40	935	39	992,4	4178,8	1870	176,59	9,44
11.	10.50	1015	39,5	992,2	4178,9	2030	189,18	9,32
12.	11.00	891	38	992,8	4178,6	1782	201,89	11,33
13.	11.10	592	36	993,6	4178,2	1184	151,53	12,80
14	11.20	693	34	994,4	4178	1386	101,10	7,29
15.	11.30	531	33	994,8	4178	1062	75,85	7,14
16.	11.40	993	34	994,4	4178	1986	101,10	5,09
17.	11:50	222	34	994,4	4178	444	101,0953	22,769
18.	12:00	836	36	993,6	4178,2	1672	101,0188	6,042
19.	12:10	826	37	993,2	4178,4	1652	126,2288	7,641
20.	12:20	925	38	992,8	4178,6	1850	151,4208	8,185
21.	12:30	944	39	992,4	4178,8	1888	176,5948	9,354
22.	12:40	953	40	992,1	4179	1906	201,7713	10,586
23.	12:50	972	39	992,4	4178,8	1944	176,5948	9,084
24.	13:00	909	39,5	992,2	4178,9	1818	189,1751	10,406
25.	13:10	596	38	992,8	4178,6	1192	201,8944	16,937
26.	13:20	270	36	993,6	4178,2	540	151,5283	28,061
27.	13:30	345	35	994	4178	690	126,3183	18,307
28.	13:40	265	35	994	4178	530	126,3183	23,834
29.	13:50	213	35	994	4178	426	75,79101	17,791
30.	14:00	540	35	994	4178	1080	75,79101	7,018
31.	14:10	107	33	994,8	4178	214	75,85201	35,445
32.	14:20	139	33	994,8	4178	278	75,85201	27,285

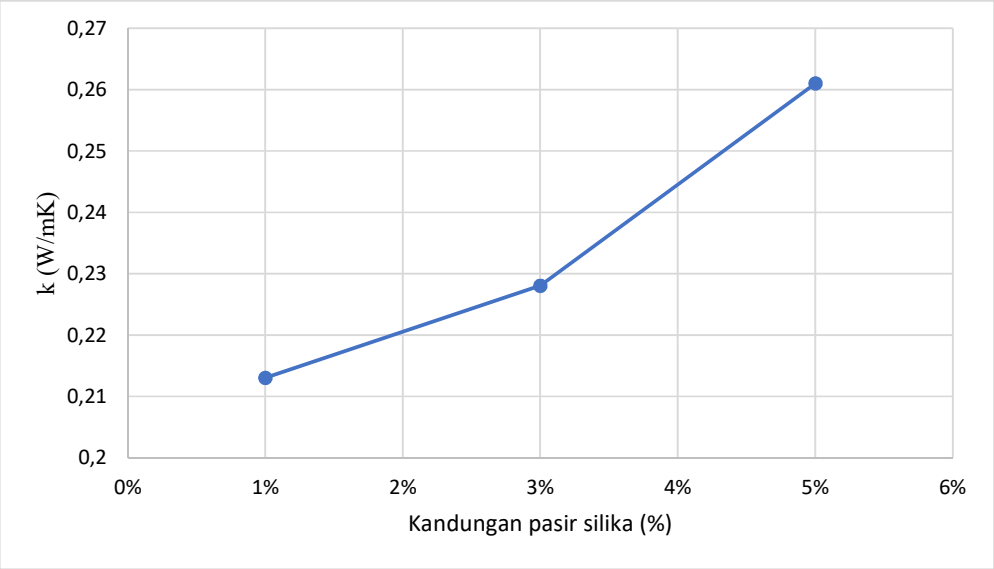
Tabel 4.6 Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-1 (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^{0}C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^{0}C)	Q_{in} (W)	Q_{out} (W)	η (%)
33.	14:30	121	30,5	995,8	4178	242	12,65471	5,229
34.	14:40	107	29	996,2	4178,4	214	25,32201	11,833
35.	14:50	102	29	996,2	4178,4	204	25,32201	12,413
36.	15:00	93	29	996,2	4178,4	186	25,32201	13,614
37.	15:10	79	29	996,2	4178,4	158	25,32201	16,027
38.	15:20	56	28	996,4	4178,8	112	50,65904	45,231
39.	15:30	54	28	996,4	4178,8	108	50,65904	46,907
40.	15:40	50	28	996,4	4178,8	100	50,65904	50,659
41.	15:50	41	28	996,4	4178,8	82	50,65904	61,779
42.	16:00	42	28	996,4	4178,8	84	50,65904	60,308

Untuk data hasil analisis pengujian pemanas air surya dengan PCM parafin wax pada hari berikutnya secara lengkap dapat dilihat pada lampiran 6.

4.2 Pembahasan

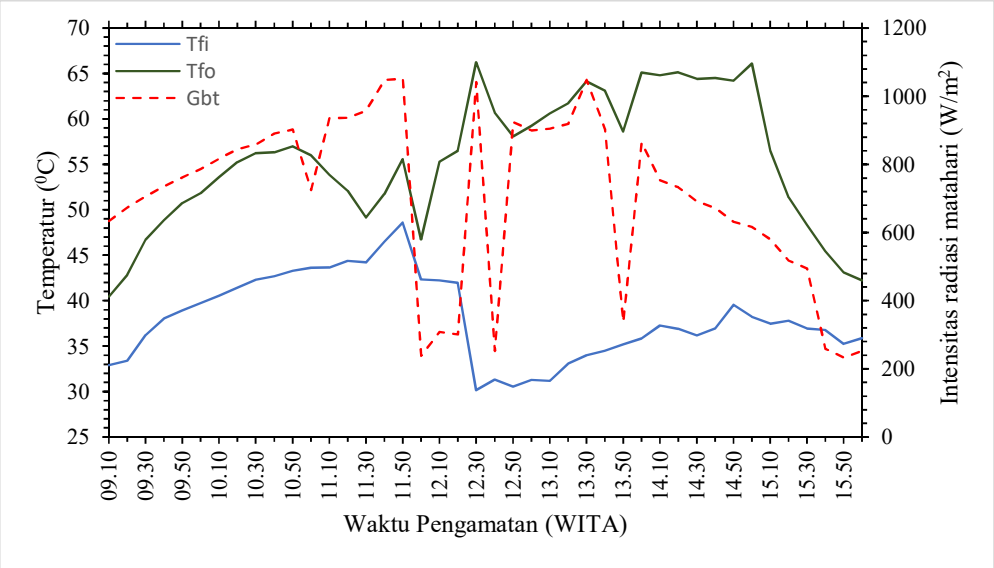
4.2.1 Pengujian Sifat Material Penyimpan Kalor



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara kandungan pasir silica pada PCM hybrid paraffin wax dengan pasir silika (%) dengan Nilai konduktifitas termal, k (W/mK)

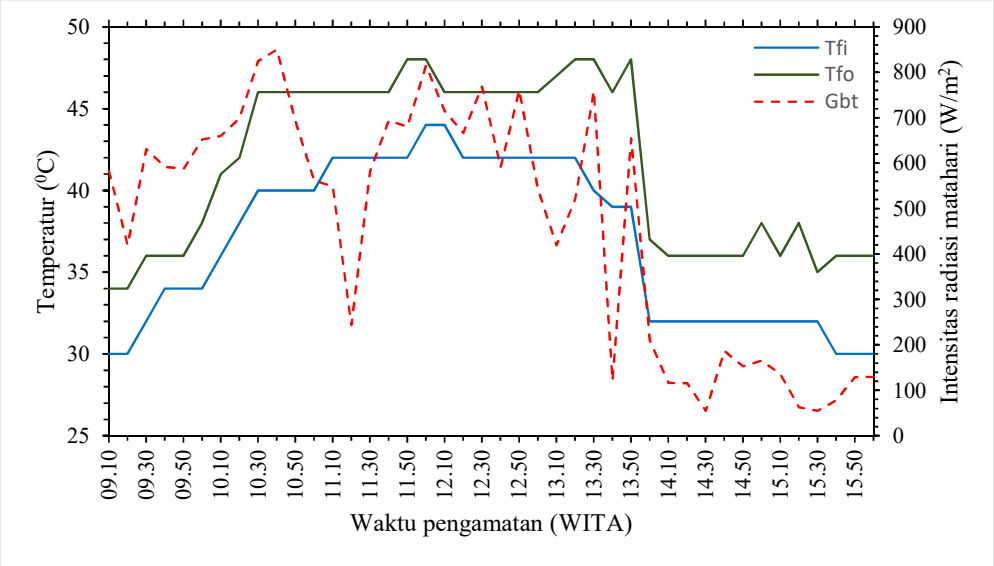
Berdasarkan Gambar 4.1 terlihat bahwa nilai konduktifitas termal meningkat seiring dengan meningkatnya nilai kandungan pasir silica dalam pcm hybrid paraffin wax. Adapun nilai k yang didapatkan tidak meningkat cukup besar dibanding nilai k pada PCM paraffin wax yaitu 0.21 W/mK. Hal ini disebabkan karena nilai kandungan pasir silika yang cukup kecil yaitu 1%, 3% dan 5% serta persebaran pasir silica yang tidak merata karena pencampuran yang tidak sempurna.

4.2.2 Pengujian Unjuk Kerja Pemanas Air Surya



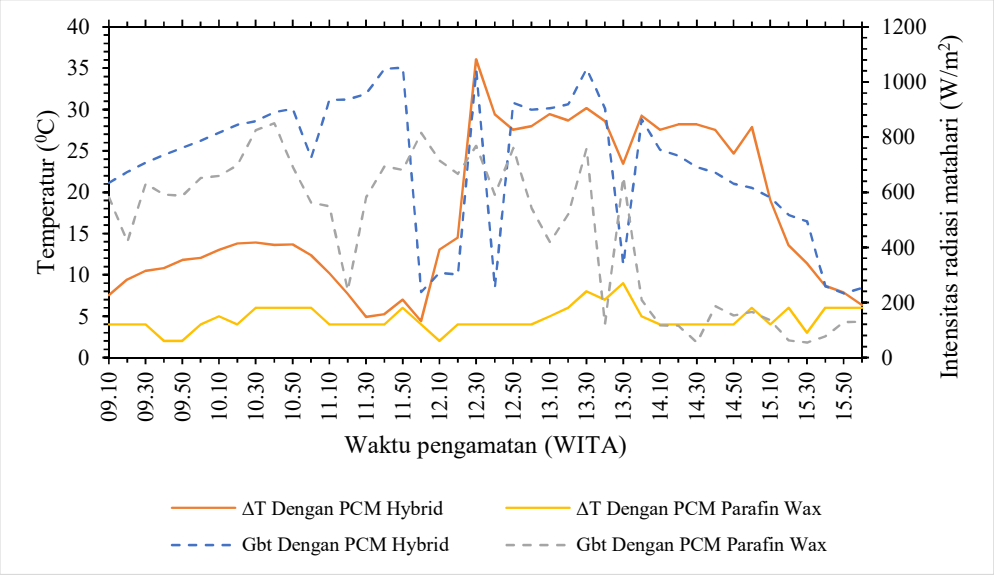
Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Waktu (WITA) dengan Temperatur (^{O}C) Air Masuk (T_{fi}) dan Keluar Kolektor (T_{fo}) Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Data Hari Ke-2.

Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat hubungan antara waktu dengan temperatur air masuk kolektor (T_{fi}) dan temperature air keluar kolektor (T_{fo}) pada pemanas air surya dengan aditif pasir silika. Nilai T_{fi} cenderung meningkat hingga pukul 11.50 WITA kemudian mengalami penurunan pada waktu berikutnya. Adapun nilai T_{fo} cenderung fluktuatif, dengan nilai T_{fo} tertinggi berada pada pukul 12.30 WITA yaitu 66.21^{0}C. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa temperatur air keluar dan temperatur air masuk kolektor memilki selisih yang cukup besar. Selisih tertinggi diperoleh pada temperatur keluar sebesar 66.21^{0}C dengan temperatur masuk kolektor sebesar 30.15^{0}C pada pukul 12.30 WITA. Fluktuasi intensitas radiasi matahari yang terjadi pada saat pengujian menyebabkan nilai temperatur air menjadi tidak stabil.



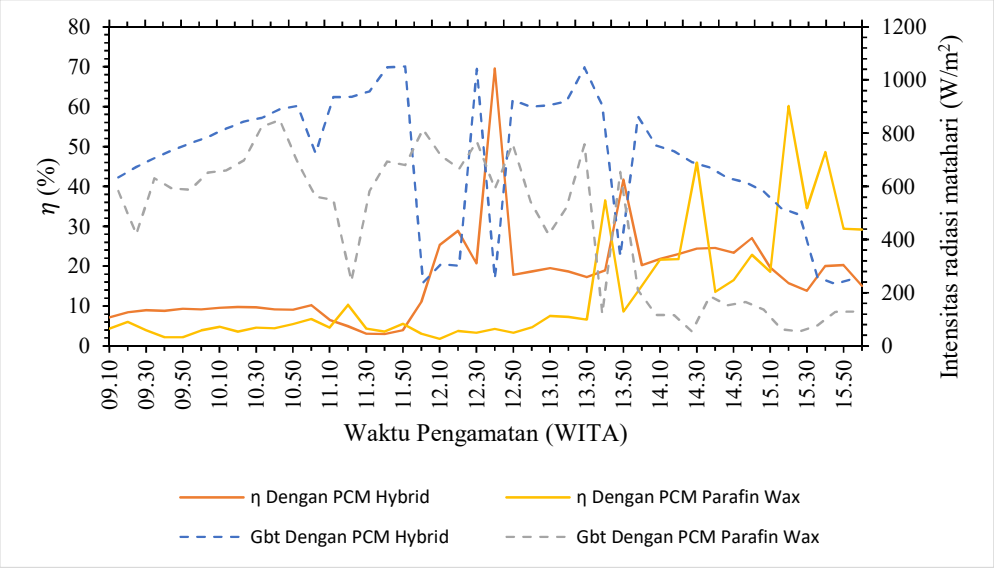
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Waktu (WITA) dengan Temperatur (^{O}C) Air Masuk dan Keluar Kolektor Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Data Hari Ke-2.

Berdasarkan Gambar 4.3 terlihat hubungan antara waktu dengan temperatur air masuk kolektor (Tfi) dan temperature air keluar kolektor (Tfo) pada pemanas air surya dengan pcm parafin wax. Nilai Tfi cenderung meningkat hingga pukul 12.00 WITA kemudian mengalami penurunan pada waktu berikutnya. Adapun nilai Tfo cenderung meningkat hingga pukul 13.50 WITA, dan kemudian mengalami penurunan pada waktu berikutnya. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa temperature keluar dan temperatur masuk kolektor memilki selisih yang cukup besar. Selisih tertinggi diperoleh pada temperature keluar sebesar 48^{0}C dengan temperature masuk kolektor sebesar 39^{0}C pada pukul 12.50 WITA. Nilai temperatur yang tidak stabil disebabkan nilai intensitas radiasi matahari yang berubah-ubah.



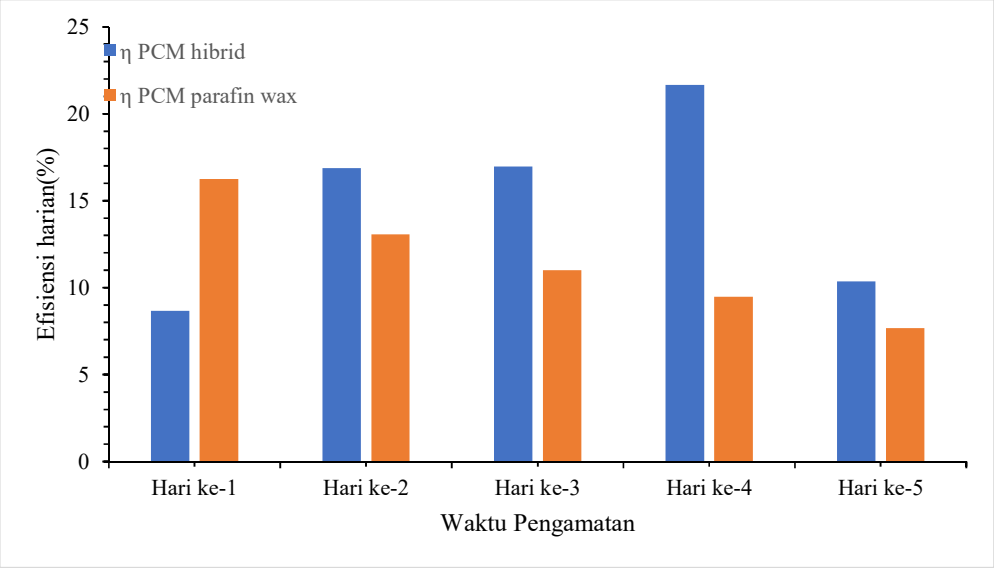
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Waktu (WITA) dengan Beda Temperature Air Masuk dan Keluar Kolektor Δ*T* (^{O}C) Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika dan Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Data Hari Ke-2

Berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan nilai ΔT pemanas air surya dengan PCM hybrid parafin wax dengan pasir silika cenderung konstan dari waktu ke waktu, adapun nilai ΔT pemanas air surya dengan PCM hybrid parafin wax mengalami peningkatan hingga pukul 13.30 WITA dan selanjutnya mengalami penurunan hingga akhir pengujian. Nilai ΔT tertinggi pada pemanas air surya dengan pcm hybrid parafin wax didapatkan sebesar 36.06^{0}C, sedangkan nilai ΔT tertinggi pada pemanas air surya dengan PCM parafin wax didapatkan sebesar 9^{0}C. Nilai ΔT pada pemanas air surya dengan PCM hybrid parafin wax dengan pasir silika tinggi dibanding dengan nilai ΔT pemanas air surya dengan PCM parafin wax, hal ini disebabakan penambahan pasir silika pada PCM menambah nilai konduktivitas termal dari PCM itu sendiri sehingga proses penghantaran kalor menjadi lebih baik dibanding dengan PCM tanpa aditif pasir silika.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Waktu (WITA) dengan Efisiensi η (%) Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika dan Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Data Hari Ke-2

Berdasarkan Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara waktu dengan efisiensi pemanas air surya, baik yang menggunakan PCM hybrid parafin wax dengan pasir silika maupun yang menggunakan PCM dengan parafin wax saja. Pada pemanas air surya yang menggunakan PCM dengan parafin wax saja selama pengujian nilai efisiensi terus meningkat dengan nilai efisiensi rata-rata 13.06%, sedangkan pada pemanas air surya dengan menggunakan PCM hybrid parafin wax dengan pasir silika nilai efisiensi cenderung fluktuatif dengan nilai efisiensi rata-rata sebesar 16.87%.



Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Pemanas Air Surya Dengan PCM Hybrid Parafin Dengan Pasir Silika dan Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Selama 5 Hari Pengujian

Berdasarkan Gambar 4.6 menunjukkan nilai efisiensi (η) pemanas air surya dengan PCM hybrid parafin wax dengan pasir silika lebih tinggi dibanding nilai efisiensi pemanas air surya dengan PCM paradin wax. Nilai efisiensi tertinggi pemanas air surya dengan PCM paradin wax diperoleh pada hari pertama sebesar 16.24%, sedangkan pada pemanas air surya dengan PCM hybrid parafin wax dengan pasir silika diperoleh pada hari keempat sebesar 21,65%. Adapun nilai efisiensi terendah pemanas air surya dengan PCM paradin wax diperoleh pada hari kelima sebesar 7.68%, sedangkan pada pemanas air surya dengan PCM hybrid parafin wax dengan pasir silika diperoleh pada hari pertama sebesar 8.67%. Hal ini disebabkan nilai intensitas radiasi matahari yang rendah pada saat dilakukan pengujian.

Penelitian ini menggunakan hibrid parafin wax dengan pasir silika sebagai material penyimpan panas laten. Parafin wax menyerap dan menyimpan kalor pada

saat perubahan fasa dari padat ke cair. Sedangkan penambahan pasir silika pada parafin wax menyebabkan konduktivitas termal dari parafin wax meningkat. Peningkatan konduktivitas termal ini menyebabkan peningkatan laju perpindahan panas sehiningga meningkatkan kinerja pemanas air surya dari segi eneri berguna dan efisiensi pemanas air surya.

POLITEKNIK NEGERI
UJUNG PANDANG

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan analisis, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai konduktivitas termal PCM hibrid parafin wax dengan pasir silika bertambah seiring pertambahan kandungan konsentrasi pasir silika dengan nilai konduktivitas berturut-turut 0,21292 W/mK, 0,22774 W/mK, 0,261054 W/mK
2. Pemberian pasir silika pada PCM parafin wax dapat meningkatkan efisiensi pemanas air surya sebesar 3,409%

5.2 Saran

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka untuk pengembangan penelitian selanjutnya disarankan :

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian pada konsentrasi pasir silika yang lebih bervariatif
2. Saat pengujian dilakukan diharapkan dilaksanakan disaat matahari tidak ditutupi oleh awan atau tidak dalam keadaan hari mendung agar PCM meleleh lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

Abhat, A. 1981. Performance studies of a finned heat pipe latent heat thermal energy storage system. Sun, NY: Pergamon Press; pp. 541–546.

Akgun M, Aydin O, Kaygusuz. 2007. Experimental study on melting/solidification characteristics of a paraffin as PCM. Enconman. 48(7): 669-678. doi:10.1016/j.enconman.2006.05.014.

Ataer OE. 2006. Energy storage system: storage of thermal energy. EOLSS.

Chaichan, T Miqdam. 2015. Thermal Conductivity Enhancement By Using Nano-Material In Phase Change Material For Latent Heat Thermal Energy Storage Systems.Vol 5 (6) :48-55

Dailami, Hamdani, A. Syuhada dan Irwansyah. 2012. Karakteristik perpindahan panas peleburan parafin-Al_2O_3 sebagai material penyimpan panas. Teknik Mesin Universitas Syah Kuala.

Darmawati dan Mahdyah Nur Pratiwi. 2016. Pemanfaatan Energi Terbuang dari Konduksi Untuk Peningkatan Efisiensi Pemanas Air Surya. Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

Dincer, I., & Rosen, M. A. 2010. Thermal Energy Storage: Systems and Applications [Hardcover]. Wiley; 2 edition. Retrieved from http://www.amazon.com/ThermalEnergy-Storage-Systems-Applications/dp/0470747064

Duffie, Jhon A. dan Beckman, William A. 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. Jhon Willey dan Sons, Inc New York

Chow, L.C., Zhong, J.K. and Beam, J.E. 1996. Thermal conductivity enhancement for phase change storage media, International Communications in Heat and Mass Transfer, 23, 91–100.

Gond,B.K., M. K. Gaur, dan C. S. Malvi. 2012. Manufacturing and Performance Analysis of Solar Flat Plate Collector with Phase Change Material.*International Journal of Engineering Technology and Advanced Engineering.*2 (3): 456-459.

Goswami, D, Y., Kreith, F., Kreider, J. F. 1999. Principles of Solar Engineering, 3rd edition, Taylor & Francis.

Hale, D. V., Hoover, M. J. dan O'Neill, M . J. 1971. Phase Change Materials Handbook. Huntsville: Alabama.

Howel, J. R. 1982. Solar Thermal Energy System Analysis and Design. New York: McGraw-Hill Book Company

Katsuki, H., Furuta, S., Watari, T. and Komarneni, S. 2005. ZSM-5 zeolite/porous carbon composite: Conventional- and Microwave-Hydrothermal Synthesis from Carbonized Rice Husk. Microporous and Mesoporous Materials. 86: 145 –151.

Lenel, U.R., Mudd, P.R., 1984. A review of materials for solar heating systems for domestic hot water. Solar Energy 32, 109–120.

Muhammad Nadjib, Sukamta, Novi Caroko dan Tito Hadji A.S. 2015. Studi Eksperimental Penyimpan Energi Termal pada Tangki Pemanas Air Tenaga Surya yang Berisi PCM. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Pratiwi, M. N.,Darmawati, Syamsudarmin, A.Zaenal. 2016. Peningkatan Efisiensi Pemanas Air Surya dengan Memanfaatkan Energi Terbuang Akibat Konduksi pada Kolektor.Laporan Program Kreativitas Mahasiswa Penelitian (PKM-P), Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Prayogo, T., B. Budiman. 2009. Survei Potensi Pasir Kuarsa di DaerahKetapang Propinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*.11 (2): 126-132.

Regin, A.F., Solanki, S.C., Saini, J.S., 2008. Heat transfer characteristics of thermal energy storage systems using PCM capsules: a review. Renew. Sustain. Energy Rev. 12, 2438– 2458

Reynolds, William C dan Perkins, Henry C. 1983. Engineering Thermodinamics. McGraw Hill. New York

Sharma, A dan C.R.Chen. 2009. Solar Water Heating System with Phase Change Materials, *International Review of Chemical Engineering (I.RE.CH.E.)*.1 (4): 297-307.

Sharma A, Tyagi VV, Chen CR, Buddhi D. 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. RSER. 13(10): 318-345. doi:10.1016/j.rser.2007.10.005.

Sudrajat, S. E. dan I. Santosa. 2014. Perancangan Solar Water Heater Jenis Plat Datar Temperatur Medium untuk Aplikasi Penghangat Air Mandi. *Jurnal Teknologi.* 7 (2): 118-127.

Surdia, T dan Saito, S. 2000. Pengetahuan Bahan Teknik. Pradanya Pramita. Jakarta. Hal 303.

Sutomo, S. A. Waluyo. (2012). Pemodelan Kolektor Surya Plat Datar untuk Pemanas Air Surya dengan Variasi Volume Storage. *Saintek.* 9(1):1-6.

Schmidt, C. Goetzberger A., 1990, ”Single-Tube Integrated Collector Storage Systems with Transparent Insulation and Involute Reflector”, Solar Energy 45,93–100.

LAMPIRAN

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika.

Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 3%.

t (min)	Atas			Bawah		
	T1 (^{0}C)	T2 (^{0}C)	T3 (^{0}C)	T1 (^{0}C)	T2 (^{0}C)	T3 (^{0}C)
0	29.2	29.2	29.1	28.4	28.4	28.5
5	36	36.1	36.1	28.4	28.4	28.3
10	38.4	38.4	38.3	28.5	28.5	28.5
15	38.9	38.9	38.7	28.8	29.1	29.1
20	40.5	40.6	40.6	29.5	29.6	29.6
25	40.4	40.4	40.3	29.7	29.9	30
30	40.1	40.1	40	30.2	30.3	30.4
35	40.4	40.4	40.4	30.5	30.7	30.7
40	40.8	40.8	40.6	30.7	31.1	31.1

Data Hasil Pengujian Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 5%.

t (min)	Atas			Bawah		
	T1 (^{0}C)	T2 (^{0}C)	T3 (^{0}C)	T1 (^{0}C)	T2 (^{0}C)	T3 (^{0}C)
0	30.5	30.5	30.5	29	29.3	28.9
5	35.9	35.9	35.8	29.2	29.4	29.4
10	39.9	35.9	40	29.1	29.3	29.3
15	40	40.1	40	29.6	29.8	30
20	40	40	40	30	30.4	30.4
25	39.9	39.8	39.8	30.3	30.6	30.6
30	40.1	40.1	40.1	30.6	30.9	31
35	40.3	40.3	40.3	30.8	31.1	31.2
40	40.4	40.4	40.4	31.3	31.5	31.5

Lampiran 2 Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika.

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-2 (12 Juli 2019).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
1.	09:10	634,6	32,9	40,45	50,78	27	28	29
2.	09:20	674,1	33,4	42,83	55,85	27	28	29
3.	09:30	707	36,2	46,69	59,98	27	28	29
4.	09:40	735,5	38,03	48,85	62,6	27	28	29
5.	09:50	762,4	38,93	50,74	65,15	27	28	29
6.	10:00	787	39,75	51,82	67,53	27	28	29
7.	10:10	816,9	40,55	53,59	69,96	27	28	29
8.	10:20	844,9	41,44	55,24	72,19	27	28	29
9.	10:30	858	42,3	56,22	74,39	27	28	29
10.	10:40	890,9	42,71	56,33	76,91	27	29	29
11.	10:50	902,8	43,3	57	78,24	27	29	30
12.	11:00	725	43,61	56	80,48	27	29	30
13.	11:10	935,9	43,66	53,86	80,87	28	29	30
14	11:20	937,1	44,38	52,11	82,47	28	29	30
15.	11:30	957,9	44,21	49,15	84,42	28	29	30
16.	11:40	1048	46,5	51,74	86,2	28	30	30
17.	11:50	1052	48,57	55,58	88,53	28	30	30
18.	12:00	238,5	42,32	46,73	78,46	28	30	31
19.	12:10	308,3	42,23	55,27	75,57	28	30	31
20.	12:20	301,5	41,98	56,49	73,71	28	30	31
21.	12:30	1042	30,15	66,21	76,19	28	40	38
22.	12:40	253,3	31,3	60,69	64,34	29	42	41
23.	12:50	924,3	30,55	58,08	75,14	30	42	42
24.	13:00	899,6	31,27	59,25	75	31	43	44
25.	13:10	905,3	31,17	60,61	74,97	32	45	45
26.	13:20	919,7	33,06	61,74	75,38	34	46	46

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-2 (12 Juli 2019) (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
27.	13:30	1048	33,98	64,13	77,58	35	47	47
28.	13:40	904,5	34,49	63,11	74,24	36	47	48
29.	13:50	337,3	35,17	58,61	65,55	37	47	48
30.	14:00	864,2	35,84	65,11	72,58	38	47	48
31.	14:10	754,4	37,27	64,8	71,35	38	48	48
32.	14:20	732,8	36,91	65,12	70,88	39	48	49
33.	14:30	691,5	36,17	64,39	68,3	39	48	49
34.	14:40	671,8	36,95	64,51	67,36	39	48	49
35.	14:50	631,3	39,55	64,21	68,09	40	47	48
36.	15:00	616,2	38,23	66,09	67,79	40	46	47
37.	15:10	580,6	37,47	56,5	67,03	40	45	46
38.	15:20	518	37,81	51,38	66,32	40	45	45
39.	15:30	494,4	36,95	48,34	65,1	40	44	45
40.	15:40	259,4	36,77	45,43	63,57	40	44	44
41.	15:50	233,2	35,26	43,13	61,78	39	43	43
42.	16:00	253,2	35,89	42,23	60,56	39	43	43

UJUNG PANDANG

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-3 (13 Juli 2019).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
1.	09:10	599,5	27	39,88	45,77	32	33	33
2.	09:20	603,4	27,15	41,3	48,67	32	33	33
3.	09:30	525,2	27,26	42,36	48,09	32	33	33
4.	09:40	552,9	27,07	40,92	49,21	32	33	33
5.	09:50	579,8	27,37	41,65	49,67	32	33	33
6.	10:00	607,7	27,91	42,79	50,03	32	33	33
7.	10:10	678,8	28,17	44,02	50,44	32	33	33
8.	10:20	804,5	27,99	45,87	50,89	32	33	33
9.	10:30	893,5	27,57	48,84	51,13	32	33	33
10.	10:40	846,7	27,47	51,4	52	32	34	34
11.	10:50	827,8	27,3	51,24	51,87	32	34	34
12.	11:00	779,2	27,55	51,23	51	32	34	34
13.	11:10	782,1	27,76	51,22	51,98	32	34	34
14	11:20	835,6	27,89	51,13	51,65	32	34	34
15.	11:30	803,2	28,48	51,48	59,6	32	34	34
16.	11:40	829,7	29,14	50,7	73,61	32	34	34
17.	11:50	898,2	30,61	52,5	70,31	32	34	34
18.	12:00	799,7	32,65	51,7	73,17	32	34	34
19.	12:10	880,3	33,1	51,5	76,65	32	34	34
20.	12:20	939,3	34,7	51,36	79,39	32	34	35
21.	12:30	950,7	36,66	49,7	81,88	32	34	35
22.	12:40	936,1	36,57	49,73	83,37	33	34	35
23.	12:50	939	37,4	49,31	84,62	33	34	35
24.	13:00	953,2	38,1	50,05	85	33	34	35
25.	13:10	951,3	39,7	51,28	85,07	33	35	35
26.	13:20	863,9	41	48,89	85,7	33	35	35
27.	13:30	869,4	40	48,72	78,61	33	35	35
28.	13:40	538,6	40,62	49,88	77,7	33	35	35
29.	13:50	308,7	41,68	49,94	76,99	33	35	35
30.	14:00	844	38,72	52,51	72,24	33	35	35
31.	14:10	770,3	39,8	53,98	79,25	33	35	35

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-3 (12 Juli 2019) (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
32.	14:20	721,9	40,43	53,82	77,38	33	35	36
33.	14:30	217,6	40,51	52,8	77,37	33	35	36
34.	14:40	665,1	37,61	51,05	70,35	33	35	36
35.	14:50	585	35,39	48,86	69,64	33	35	36
36.	15:00	617,4	35,83	49,47	68,26	33	35	36
37.	15:10	582,8	36,88	50,38	65,94	33	35	35
38.	15:20	178,5	35,44	48,3	68,26	33	35	35
39.	15:30	96,1	34,5	44,1	65,94	34	35	36
40.	15:40	163,9	31,07	42,24	64,03	34	35	35
41.	15:50	195,1	31,32	42,41	62,58	33	35	35
42.	16:00	181,6	31,97	42,6	61,41	33	35	35

UJUNG PANDANG

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-4 (15 Juli 2019).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
1.	09:10	804,5	30,55	45,87	45,66	31	36	35
2.	09:20	702	31,03	47,67	47,53	31	36	35
3.	09:30	822,2	32,66	50,66	50,63	31	36	35
4.	09:40	524,4	33,57	48	47,69	31	36	37
5.	09:50	879,4	33,53	48,53	51,58	31	36	37
6.	10:00	1072	33,53	49,81	51,86	31	36	37
7.	10:10	456,5	34,59	50,98	51,88	32	37	38
8.	10:20	489,2	34,22	51,35	53,84	32	38	39
9.	10:30	426,9	34,68	51,44	52,71	32	38	39
10.	10:40	967,2	34,78	52,5	57,8	33	38	39
11.	10:50	893,4	34,95	56,21	61,88	33	39	40
12.	11:00	915,9	35,22	58,51	64,36	34	40	42
13.	11:10	938,3	35,61	60,03	66,23	34	41	43
14	11:20	958,9	36,1	61,64	67,99	35	43	44
15.	11:30	939,3	36,22	62,74	68,31	35	44	45
16.	11:40	981,6	36,09	63,19	69,31	36	45	46
17.	11:50	330,5	36,96	62,51	61,93	37	45	47
18.	12:00	989,6	37,35	60,09	67,32	37	44	46
19.	12:10	339,5	37,55	63,85	66,71	38	45	47
20.	12:20	1063	38,25	65,48	64,39	38	48	48
21.	12:30	221,4	38,49	62,63	59,04	39	48	48
22.	12:40	1052	38,68	60,95	64,78	39	48	48
23.	12:50	726,3	38,84	65,84	67,66	40	48	48
24.	13:00	958,8	37,03	62,09	67,33	40	49	49
25.	13:10	981,6	39,26	68,12	68,69	41	50	50
26.	13:20	912,2	37,52	69,47	69,72	41	51	51
27.	13:30	906,2	37,63	68,75	70,27	42	51	51
28.	13:40	926,4	37,63	68,63	69,87	42	51	51
29.	13:50	840,8	38,42	69,27	67,33	42	51	51
30.	14:00	811,2	39,17	69,56	66,58	43	51	51
31.	14:10	816,9	41,06	67,44	66,18	43	49	50

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-4 (15 Juli 2019) (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
32.	14:20	745,7	42,18	67,19	69,61	43	47	48
33.	14:30	718,6	42,06	64,66	71,56	43	46	48
34.	14:40	666,3	47,47	64,46	72,22	43	46	47
35.	14:50	689,3	42,74	62,61	71,9	43	46	46
36.	15:00	619,9	43,5	58,54	69,01	42	45	46
37.	15:10	588,1	43,7	58,31	68,73	42	45	46
38.	15:20	497,6	43,87	55,27	67,51	42	45	45
39.	15:30	209,3	41,8	52,38	65,02	42	44	45
40.	15:40	243	41,82	52,14	63,85	42	44	44
41.	15:50	141,5	41,04	52	61,22	42	44	44
42.	16:00	104,1	40,1	51,5	59,82	42	43	44

UJUNG PANDANG

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-5 (16 Juli 2019).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
1.	09:10	645	27	35,11	63,2	33	33	34
2.	09:20	703,2	27,15	35,98	64,1	33	33	34
3.	09:30	700,4	27,24	36,03	65,3	33	33	34
4.	09:40	735,6	27,07	37,56	67,29	33	33	34
5.	09:50	770,3	27,11	39,26	70,63	33	34	35
6.	10:00	863	27,8	41,37	73,99	33	34	35
7.	10:10	868,6	28,21	42,56	75,67	33	34	35
8.	10:20	840	28,01	43,78	78,09	33	34	35
9.	10:30	871,6	27,98	44,49	80,87	33	34	35
10.	10:40	865,4	27,45	44,54	82,35	33	34	35
11.	10:50	894,7	27,3	44,97	84,02	33	34	35
12.	11:00	912,2	27,54	45,04	85,01	33	34	35
13.	11:10	919,9	27,76	45,35	86,86	33	35	35
14	11:20	943,9	27,9	45,89	88,68	33	35	35
15.	11:30	949,9	28,65	45,78	89,92	33	35	35
16.	11:40	955,5	29,3	48,8	89,76	33	35	36
17.	11:50	968,2	30,1	48,74	92,17	33	35	36
18.	12:00	965,1	32,57	48,27	93	33	35	36
19.	12:10	969,7	33,1	49,38	93,94	33	35	36
20.	12:20	968,7	34,7	48,72	94,47	33	35	36
21.	12:30	1007	36,55	48,14	94,21	33	35	36
22.	12:40	988,1	36,57	48,96	94,39	33	35	36
23.	12:50	988,7	37,89	50,36	94,26	33	35	36
24.	13:00	946,4	38,01	50,55	93,15	34	35	36
25.	13:10	945,2	39,7	50,76	94,06	34	36	36
26.	13:20	925,6	41	50,67	94,46	34	36	36
27.	13:30	881,01	40,1	50,62	95,06	34	36	37
28.	13:40	860,7	40,32	50,19	95,2	34	36	37
29.	13:50	835	41,68	48,93	94,42	34	36	37
30.	14:00	811,9	39,79	48,45	92,98	34	36	37
31.	14:10	695,8	39,8	47,25	90,45	34	35	37

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-5 (16 Juli 2019) (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
32.	14:20	690,5	40,11	46,02	87,1	34	35	37
33.	14:30	763,6	40,32	45,84	85,88	34	35	37
34.	14:40	713,7	37,89	46,26	84,71	34	35	36
35.	14:50	700,5	35,39	46,77	87,12	34	36	37
36.	15:00	636,9	35,83	46,14	80,11	34	36	36
37.	15:10	604,3	36,88	45,87	77,98	35	36	37
38.	15:20	602,5	35,44	45,67	76,79	35	36	37
39.	15:30	562,9	33,45	44,95	74,14	35	36	37
40.	15:40	561	31,03	44,38	72,33	35	36	37
41.	15:50	489,2	31,32	43,73	70,28	35	36	36
42.	16:00	117,8	30,99	42,44	62,02	35	36	36

UJUNG PANDANG

Lampiran 3 Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax.

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-2.

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
1.	09.10	583	30	34	26,5	27	27,25	27,5
2.	09.20	420	30	34	27,5	27,25	27,25	27,75
3.	09.30	631	32	36	28,75	27,25	27,25	27,75
4.	09.40	592	34	36	30	27,25	27,5	28
5.	09.50	588	34	36	31,5	27,25	27,5	28,25
6.	10.00	652	34	38	33	27,25	27,5	28,5
7.	10.10	660	36	41	34,25	27,25	27,75	28,75
8.	10.20	699	38	42	35,25	27,25	27,75	28,75
9.	10.30	825	40	46	35,25	27,25	27,75	28,75
10.	10.40	850	40	46	37,25	27,5	28	28,75
11.	10.50	692	40	46	37,75	27,5	28	28,75
12.	11.00	562	40	46	38,25	27,5	28	29
13.	11.10	549	42	46	39	27,5	28	29
14	11.20	244	42	46	39	27,5	28	29
15.	11.30	582	42	46	39	27,5	28	29
16.	11.40	694	42	46	39	27,5	28	29
17.	11.50	681	42	48	39	27,5	28	29
18.	12.00	815	44	48	39	27,5	28	29
19.	12.10	715	44	46	39	27,5	28	29
20.	12.20	667	42	46	39	27,5	28	29
21.	12.30	769	42	46	39	27,5	28	29
22.	12.40	591	42	46	39	27,5	28	29
23.	12.50	761	42	46	39	27,5	28	29
24.	13.00	543	42	46	39	27,5	28	29
25.	13.10	419	42	47	39	27,5	28	29
26.	13.20	521	42	48	39	27,5	28	29
27.	13.30	759	40	48	48	28,75	29	29,5
28.	13.40	121	39	46	48	28,75	29	29,5
29.	13.50	655	39	48	48	28,75	29	29,5

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-2 (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
30.	14.00	210	32	37	48	28,75	29	29,5
31.	14.10	117	32	36	48	28,75	29	29,5
32.	14.20	116	32	36	42,75	28,75	29	29,5
33.	14.30	55	32	36	42,75	28,75	29	29,5
34.	14.40	187	32	36	42,25	28,75	29	29,5
35.	14.50	153	32	36	42,5	28,75	29,25	29,75
36.	15.00	166	32	38	42,75	28,75	29,25	29,75
37.	15.10	136	32	36	43	28,75	29,25	29,75
38.	15.20	63	32	38	42	29	29,25	29,75
39.	15.30	55	32	35	46,25	29	29,25	29,75
40.	15.40	78	30	36	46,25	29	29,25	29,75
41.	15.50	129	30	36	46,25	29	29,25	29,75
42.	16.00	130	30	36	44,75	29	29,25	29,75

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-3.

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
1.	09.10	209	32	34	29,75	28,25	28,25	28,75
2.	09.20	632	34	36	31,75	28,25	28,5	28,75
3.	09.30	611	34	36	33,5	28,25	28,5	29
4.	09.40	645	35	36	35,5	28,25	28,5	29,5
5.	09.50	421	37	38	37,75	28,25	28,75	29,5
6.	10.00	792	38	39	39,75	28,25	28,75	30
7.	10.10	738	43	44	39,75	28,25	28,75	30
8.	10.20	728	43	44	39,75	28,25	28,75	30
9.	10.30	738	42	46	39,75	28,25	28,75	30
10.	10.40	132	38	39	39,75	28,25	28,75	30
11.	10.50	135	36	37	39,75	28,25	28,75	30
12.	11.00	158	34	36	39,75	28,25	28,75	30
13.	11.10	172	38	40	39,75	28,25	28,75	30
14	11.20	296	40	42	39,75	28,25	28,75	30
15.	11.30	762	42	44	39,75	28,25	28,75	30
16.	11.40	860	39	46	39,75	28,25	28,75	30
17.	11.50	113	35	40	39,75	28,25	28,75	30
18.	12.00	135	34	36	39,75	28,25	28,75	30
19.	12.10	128	28	36	66,25	30	31	32,5
20.	12.20	161	36	40	66,25	30	31	32,5
21.	12.30	136	35	40	66,25	30	31	32,5
22.	12.40	753	38	40	66,25	30	31	32,5
23.	12.50	608	41	42	66,25	30	31	32,5
24.	13.00	732	41	42	66,25	30	31	32,5
25.	13.10	756	41	43	66,25	30	31	32,5
26.	13.20	892	40	43	66,25	30	31	32,5
27.	13.30	750	38	44	66,25	30	31	32,5
28.	13.40	779	38	48	66,25	30	31	32,5
29.	13.50	450	38	46	65	30	31	32,75
30.	14.00	256	34	46	61,75	30,25	31,25	32,75
31.	14.10	171	34	36	58,5	30,25	31,25	32,5

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-3 (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
32.	14.20	148	32	36	56,5	30,25	31,25	32,25
33.	14.30	187	34	36	56,5	30,25	31,25	32,25
34.	14.40	238	36	38	56,5	30,25	31,25	32,25
35.	14.50	217	33	38	56,5	30,25	31,25	32,25
36.	15.00	104	33	37	56,5	30,25	31,25	32,25
37.	15.10	253	33	37	56,5	30,25	31,25	32,25
38.	15.20	135	33	37	56,5	30,25	31,25	32,25
39.	15.30	78	33	37	56,5	30,25	31,25	32,25
40.	15.40	129	33	37	56,5	30,25	31,25	32,25
41.	15.50	89	33	37	56,5	30,25	31,25	32,25
42.	16.00	55	33	37	47,75	30,75	31	31,5

UJUNG PANDANG

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-4.

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
1.	09.10	195	32	36	29	29	29,25	29,5
2.	09.20	211	32	36	30	29	29,25	29,75
3.	09.30	178	32	34	31,5	29	29,25	29,75
4.	09.40	151	32	34	32,75	29	29,25	30
5.	09.50	121	32	34	33,25	29	29,25	30
6.	10.00	377	32	34	34	29	29,25	29,75
7.	10.10	591	32	36	35,5	29	29,5	30
8.	10.20	428	36	40	35,5	29	29,5	30
9.	10.30	298	36	38	35,5	29	29,5	30
10.	10.40	392	38	40	35,5	29	29,5	30
11.	10.50	380	38	40	35,5	29	29,5	30
12.	11.00	765	38	42	35,5	29	29,5	30
13.	11.10	601	38	42	35,5	29	29,5	30
14	11.20	565	38	42	35,5	29	29,5	30
15.	11.30	572	38	42	47,5	29,5	30	31,25
16.	11.40	563	38	42	48	29,5	30	31,25
17.	11.50	382	38	42	49,25	29,5	30,25	31,5
18.	12.00	214	36	40	49,75	29,5	30,25	31,75
19.	12.10	271	36	40	49,75	29,75	30,5	31,5
20.	12.20	335	36	40	49,75	29,75	30,5	31,5
21.	12.30	280	36	40	49,5	29,75	30,5	31,25
22.	12.40	365	36	40	49,5	29,75	30,5	31,25
23.	12.50	250	34	38	49,5	30	30,5	31,25
24.	13.00	280	34	38	49,5	30	30,5	31,25
25.	13.10	268	34	38	49,5	30	30,5	31,25
26.	13.20	311	34	38	48,25	30	30,5	31,25
27.	13.30	277	34	38	48,25	30	30,5	31,25
28.	13.40	370	34	38	48	30	30,5	31,25
29.	13.50	276	34	38	47,75	30,25	30,5	31,25
30.	14.00	263	32	37	47,75	30,25	30,5	31,25
31.	14.10	221	32	36	47,75	30,25	30,5	31,25

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-4 (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
32.	14.20	172	32	36	47,75	30,25	30,5	31,25
33.	14.30	213	32	36	47,75	30,25	30,5	31,25
34.	14.40	189	32	36	47,75	30,25	30,5	31,25
35.	14.50	208	32	36	47,75	30,25	30,5	31,25
36.	15.00	209	32	36	47,75	30,25	30,5	31,25
37.	15.10	148	32	36	47,75	30,25	30,5	31,25
38.	15.20	151	32	36	47,75	30,25	30,5	31,25
39.	15.30	168	32	36	47,75	30,25	30,5	31,25
40.	15.40	162	32	36	47,75	30,25	30,5	31,25
41.	15.50	150	32	36	47,75	30,25	30,5	31,25
42.	16.00	127	32	36	42,75	30,5	30,75	31,25

UJUNG PANDANG

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-5.

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
1.	09.10	120	26	28	26	28,25	28,25	28,25
2.	09.20	120	26	28	26	28,25	28,25	28,25
3.	09.30	120	26	28	26	28,25	28,25	28,25
4.	09.40	120	26	28	26	28,25	28,25	28,25
5.	09.50	118	26	28	26,5	28,25	28,25	28,25
6.	10.00	161	26	28	27,5	28,25	28,25	28,25
7.	10.10	113	26	28	28,5	28,25	28,25	28,5
8.	10.20	125	28	29	29,25	28,25	28,25	28,5
9.	10.30	212	28	29	30	28,25	28,25	28,5
10.	10.40	278	29	30	31,25	28,25	28,25	28,75
11.	10.50	282	30	32	33	28,25	28,5	28,75
12.	11.00	271	30	32	33	28,25	28,5	28,75
13.	11.10	263	32	34	33	28,25	28,5	28,75
14	11.20	283	32	34	33	28,25	28,5	28,75
15.	11.30	291	32	34	33	28,25	28,5	28,75
16.	11.40	229	34	37	33	28,25	28,5	28,75
17.	11.50	232	32	34	33	28,25	28,5	28,75
18.	12.00	209	32	34	38,75	28,5	28,75	29,5
19.	12.10	238	32	34	39	28,5	28,75	29,5
20.	12.20	305	33	35	39,25	28,5	29	29,5
21.	12.30	321	33	35	39,75	28,5	29	29,5
22.	12.40	518	36	38	39,75	28,5	29	29,5
23.	12.50	471	32	34	39,75	28,5	29	29,5
24.	13.00	238	33	35	39,75	28,5	29	29,5
25.	13.10	142	33	35	39,75	28,5	29	29,5
26.	13.20	127	36	38	39,75	28,5	29	29,5
27.	13.30	193	36	38	39,75	28,5	29	29,5
28.	13.40	274	35	38	39,75	28,5	29	29,5
29.	13.50	142	34	36	39,75	28,5	29	29,5
30.	14.00	209	34	36	39,75	28,5	29	29,5
31.	14.10	385	32	34	39,75	28,5	29	29,5

Data Hasil Pengujian Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-5 (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{fi} (^0C)	T_{fo} (^0C)	T_{pcm} (^0C)	Temperatur Tangki		
						T_1 (^0C)	T_2 (^0C)	T_3 (^0C)
32.	14.20	341	32	34	39,75	28,5	29	29,5
33.	14.30	185	30	32	39,75	28,5	29	29,5
34.	14.40	183	30	32	39,75	28,5	29	29,5
35.	14.50	214	32	34	39,75	28,5	29	29,5
36.	15.00	81	32	34	38,5	29,25	29,5	29,75
37.	15.10	176	30	32	38,5	29,25	29,5	29,75
38.	15.20	183	32	34	38,5	29,25	29,5	29,75
39.	15.30	176	32	34	38,5	29,25	29,5	29,75
40.	15.40	76	32	34	38,5	29,25	29,5	29,75
41.	15.50	68	32	34	38,5	29,25	29,5	29,75
42.	16.00	45	32	34	38,5	29,25	29,5	29,75

UJUNG PANDANG

Lampiran 4 Data Hasil Analisis Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika.

Data Hasil Analisis Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 3%.

Titik Pengukuran	ΔT (K)	k (W/mK)
Titik 1	282,9	0,22764
Titik 2	282,763	0,22775
Titik 3	282,663	0,22783
k		0,22774

Data Hasil Analisis Pengujian Konduktivitas Termal PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika 5%.

Titik Pengukuran	ΔT (K)	k (W/mK)
Titik 1	282,45	0,26072
Titik 2	281,69	0,26142
Titik 3	282,13	0,26102
k		0,261054

Lampiran 5 Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika.

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-2 (12 Juli 2019).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
1.	09.10	634,6	36,675	993,448	4178	720,921	51,606	7,158
2.	09.20	674,1	38,115	992,926	4178	765,794	64,423	8,413
3.	09.30	707	41,445	991,658	4179	803,170	71,590	8,913
4.	09.40	735,5	43,440	990,860	4179	835,546	73,782	8,830
5.	09.50	762,4	44,835	990,285	4179	866,105	80,487	9,293
6.	10.00	787	45,785	989,886	4180	894,052	82,245	9,199
7.	10.10	816,9	47,070	989,335	4180	928,019	88,805	9,569
8.	10.20	844,9	48,340	988,780	4181	959,828	93,951	9,788
9.	10.30	858	49,260	988,372	4181	974,709	94,728	9,719
10.	10.40	890,9	49,520	988,255	4181	1012,085	92,676	9,157
11.	10.50	902,8	50,150	987,971	4181	1025,603	93,193	9,087
12.	11.00	725	49,805	988,127	4181	823,618	84,296	10,235
13.	11.10	935,9	48,760	988,595	4181	1063,206	69,429	6,530
14	11.20	937,1	48,245	988,822	4181	1064,569	52,628	4,944
15.	11.30	957,9	46,680	989,504	4180	1088,198	33,648	3,092
16.	11.40	1048	49,120	988,434	4181	1190,554	35,662	2,995
17.	11.50	1052	52,075	987,087	4182	1195,098	47,654	3,987
18.	12.00	238,5	44,525	990,414	4179	270,942	30,059	11,094
19.	12.10	308,3	48,750	988,599	4181	350,237	88,760	25,343
20.	12.20	301,5	49,235	988,383	4181	342,512	98,745	28,830
21.	12.30	1042	48,180	988,851	4181	1183,738	245,515	20,741
22.	12.40	253,3	45,995	989,796	4180	287,755	200,245	69,589
23.	12.50	924,3	44,315	990,501	4179	1050,028	187,661	17,872
24.	13.00	899,6	45,260	990,107	4180	1021,968	190,698	18,660
25.	13.10	905,3	45,890	989,841	4180	1028,443	200,595	19,505
26.	13.20	919,7	47,400	989,192	4180	1044,802	195,289	18,691
27.	13.30	1048	49,055	988,463	4181	1190,554	205,196	17,235
28.	13.40	904,5	48,800	988,577	4181	1027,535	194,805	18,959
29.	13.50	337,3	46,890	989,413	4181	383,181	159,682	41,673

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-2 (12 Juli 2019) (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
30.	14.00	864,2	50,475	987,823	4181	981,753	199,078	20,278
31.	14.10	754,4	51,035	987,568	4181	857,017	187,195	21,843
32	14.20	732,8	51,015	987,577	4181	832,479	191,820	23,042
33.	14.30	691,5	50,280	987,912	4181	785,561	191,954	24,435
34.	14.40	671,8	50,730	987,707	4181	763,182	187,425	24,558
35.	14.50	631,3	51,880	987,177	4181	717,173	167,613	23,371
36.	15.00	616,2	52,160	987,047	4182	700,019	189,384	27,054
37.	15.10	580,6	46,985	989,372	4180	659,576	129,603	19,649
38.	15.20	518	44,595	990,390	4179	588,461	92,491	15,717
39.	15.30	494,4	42,645	991,182	4179	561,651	77,694	13,833
40.	15.40	259,4	41,100	991,794	4179	294,685	59,109	20,058
41.	15.50	233,2	39,195	992,521	4178	264,921	53,743	20,286
42.	16.00	253,2	39,060	992,575	4178	287,642	43,297	15,053

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-3 (13 Juli 2019).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
1.	09.10	599,5	33,440	994,561	4178	681,047	88,137	12,941
2.	09.20	603,4	34,225	994,297	4178	685,477	96,801	14,122
3.	09.30	525,2	34,810	994,100	4178	596,640	103,280	17,310
4.	09.40	552,9	33,995	994,374	4178	628,108	94,756	15,086
5.	09.50	579,8	34,510	994,202	4178	658,667	97,681	14,830
6.	10.00	607,7	35,350	993,914	4178	690,362	101,756	14,740
7.	10.10	678,8	36,095	993,652	4178	771,134	108,361	14,052
8.	10.20	804,5	36,930	993,357	4178	913,932	122,203	13,371
9.	10.30	893,5	38,205	992,891	4178	1015,038	145,304	14,315
10.	10.40	846,7	39,435	992,432	4178	961,872	163,400	16,988
11.	10.50	827,8	39,270	992,496	4178	940,401	163,479	17,384
12.	11.00	779,2	39,390	992,450	4178	885,191	161,696	18,267
13.	11.10	782,1	39,490	992,413	4178	888,485	160,188	18,029
14	11.20	835,6	39,510	992,405	4178	949,262	158,684	16,717
15.	11.30	803,2	39,980	992,226	4178	912,455	157,017	17,208
16.	11.40	829,7	39,920	992,249	4178	942,560	147,190	15,616
17.	11.50	898,2	41,555	991,613	4178	1020,378	149,347	14,636
18.	12.00	799,7	42,175	991,368	4179	908,479	129,970	14,306
19.	12.10	880,3	42,300	991,439	4179	1000,043	125,544	12,554
20.	12.20	939,3	43,030	991,027	4179	1067,068	113,625	10,648
21.	12.30	950,7	43,180	990,966	4179	1080,019	88,930	8,234
22.	12.40	936,1	43,150	990,978	4179	1063,433	89,750	8,440
23.	12.50	939	43,355	990,893	4179	1066,727	81,218	7,614
24.	13.00	953,2	44,075	990,598	4179	1082,859	81,466	7,523
25.	13.10	951,3	45,490	990,010	4179	1080,701	78,897	7,301
26.	13.20	863,9	44,945	990,237	4179	981,412	53,769	5,479
27.	13.30	869,4	44,360	990,482	4179	987,660	59,440	6,018
28.	13.40	538,6	45,250	990,111	4179	611,863	63,097	10,312
29.	13.50	308,7	45,810	989,875	4179	350,691	56,270	16,045
30.	14.00	844	45,615	989,955	4179	958,805	93,949	9,799
31.	14.10	770,3	46,890	989,413	4180	875,080	96,576	11,036

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-3 (13 Juli 2019) (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
32	14.20	721,9	47,125	989,309	4180	820,096	91,186	11,119
33.	14.30	217,6	46,655	989,512	4180	247,199	83,712	33,864
34.	14.40	665,1	44,330	990,494	4179	755,570	91,614	12,125
35.	14.50	585	42,125	991,388	4179	664,575	91,902	13,829
36.	15.00	617,4	42,650	991,180	4179	701,382	93,042	13,266
37.	15.10	582,8	43,630	990,783	4179	662,075	92,050	13,903
38.	15.20	178,5	41,870	991,500	4179	202,780	87,750	43,273
39.	15.30	96,1	39,300	992,484	4178	109,172	65,555	60,047
40.	15.40	163,9	36,655	993,453	4178	186,194	76,350	41,006
41.	15.50	195,1	36,865	993,378	4178	221,638	75,798	34,199
42.	16.00	181,6	37,285	993,227	4178	206,302	72,643	35,212

UJUNG PANDANG

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-4 (15 Juli 2019).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
1.	09.10	804,5	38,210	992,968	4178	913,932	104,665	11,452
2.	09.20	702	39,350	992,466	4178	797,490	113,626	14,248
3.	09.30	822,2	41,660	991,574	4179	934,040	122,832	13,151
4.	09.40	524,4	40,785	991,916	4179	595,732	98,504	16,535
5.	09.50	879,4	41,030	991,821	4179	999,020	102,385	10,249
6.	10.00	1072	41,670	991,570	4179	1217,819	111,094	9,122
7.	10.10	456,5	42,785	991,126	4179	518,595	111,795	21,557
8.	10.20	489,2	42,785	991,126	4179	555,743	116,842	21,024
9.	10.30	426,9	43,060	991,039	4179	484,969	114,308	23,570
10.	10.40	967,2	43,640	990,779	4179	1098,763	120,824	10,996
11.	10.50	893,4	45,580	989,972	4180	1014,925	144,878	14,275
12.	11.00	915,9	46,865	989,424	4180	1040,485	158,624	15,245
13.	11.10	938,3	47,820	989,366	4180	1065,932	166,310	15,602
14	11.20	958,9	48,870	988,930	4181	1089,334	173,903	15,964
15.	11.30	939,3	49,480	988,488	4181	1067,068	180,495	16,915
16.	11.40	981,6	49,640	988,202	4181	1115,122	184,389	16,535
17.	11.50	330,5	49,735	988,159	4181	375,456	173,836	46,300
18.	12.00	989,6	48,720	988,613	4181	1124,210	154,788	13,769
19.	12.10	339,5	50,700	987,721	4182	385,680	178,902	46,386
20.	12.20	1063	51,865	987,185	4182	1207,595	185,127	15,330
21.	12.30	221,4	50,560	987,646	4182	251,516	164,196	65,283
22.	12.40	1052	49,815	988,123	4181	1195,098	151,514	12,678
23.	12.50	726,3	52,340	986,963	4182	825,095	183,523	22,243
24.	13.00	958,8	49,560	988,238	4181	1089,221	170,515	15,655
25.	13.10	981,6	53,690	986,327	4183	1115,122	196,086	17,584
26.	13.20	912,2	53,495	986,420	4183	1036,282	217,101	20,950
27.	13.30	906,2	53,190	986,564	4183	1029,466	211,492	20,544
28.	13.40	926,4	53,130	986,592	4183	1052,414	210,682	20,019
29.	13.50	840,8	53,845	986,253	4183	955,170	209,591	21,943
30.	14.00	811,2	54,365	986,004	4183	921,543	206,413	22,399
31.	14.10	816,9	54,250	986,060	4183	928,019	179,187	19,309

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-4 (15 Juli 2019) (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
32	14.20	745,7	54,685	985,850	4183	847,134	169,845	20,049
33.	14.30	718,6	53,360	986,484	4183	816,348	153,577	18,813
34.	14.40	666,3	55,965	985,230	4183	756,933	115,308	15,234
35.	14.50	689,3	52,675	986,807	4182	783,062	135,038	17,245
36.	15.00	619,9	51,020	987,575	4181	704,222	102,268	14,522
37.	15.10	588,1	51,005	987,582	4181	668,096	99,345	14,870
38.	15.20	497,6	49,570	988,233	4181	565,286	77,568	13,722
39.	15.30	209,3	47,090	989,327	4180	237,770	72,051	30,303
40.	15.40	243	46,980	989,374	4180	276,054	70,284	25,460
41.	15.50	141,5	46,520	989,572	4189	160,748	74,818	46,544
42.	16.00	104,1	45,800	989,879	4179	118,260	77,660	65,669

UJUNG PANDANG

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-5 (16 Juli 2019).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
1.	09.10	645	31,055	995,327	4178	732,736	55,539	7,580
2.	09.20	703,2	31,565	995,167	4178	798,853	60,460	7,568
3.	09.30	700,4	31,635	995,145	4178	795,672	60,184	7,564
4.	09.40	735,6	32,315	994,928	4178	835,660	71,809	8,593
5.	09.50	770,3	33,185	994,645	4178	875,080	83,148	9,502
6.	10.00	863	34,585	994,177	4178	980,390	92,822	9,468
7.	10.10	868,6	35,385	993,902	4178	986,751	98,131	9,945
8.	10.20	840	35,895	993,724	4178	954,261	107,822	11,299
9.	10.30	871,6	36,235	993,604	4178	990,159	112,868	11,399
10.	10.40	865,4	35,995	994,035	4178	983,116	116,883	11,889
11.	10.50	894,7	36,135	993,687	4178	1016,402	120,808	11,886
12.	11.00	912,2	36,290	993,585	4178	1036,282	119,633	11,544
13.	11.10	919,9	36,555	993,491	4178	1045,029	120,237	11,506
14	11.20	943,9	36,895	993,369	4178	1072,294	122,956	11,467
15.	11.30	949,9	37,215	993,254	4178	1079,110	117,065	10,848
16.	11.40	955,5	39,050	992,579	4178	1085,472	133,171	12,268
17.	11.50	968,2	39,420	992,439	4178	1099,899	127,280	11,572
18.	12.00	965,1	40,420	992,057	4179	1096,378	107,189	9,777
19.	12.10	969,7	41,240	991,739	4179	1101,603	111,113	10,086
20.	12.20	968,7	41,710	991,554	4179	1100,467	95,670	8,694
21.	12.30	1007	42,345	992,468	4178	1143,977	79,142	6,918
22.	12.40	988,1	42,765	991,134	4179	1122,506	84,512	7,529
23.	12.50	988,7	44,125	990,589	4179	1123,188	85,011	7,569
24.	13.00	946,4	44,280	990,516	4179	1075,134	85,481	7,951
25.	13.10	945,2	45,230	990,120	4180	1073,771	75,381	7,020
26.	13.20	925,6	45,835	989,864	4180	1051,505	65,890	6,266
27.	13.30	881,01	45,360	990,065	4180	1000,849	71,696	7,164
28.	13.40	860,7	45,255	991,338	4180	977,777	67,353	6,888
29.	13.50	835	45,305	990,088	4180	948,581	49,412	5,209
30.	14.00	811,9	44,120	990,582	4179	922,339	59,037	6,401
31.	14.10	695,8	43,525	990,826	4179	790,446	50,800	6,427

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Hibrid Parafin Wax Dengan Pasir Silika Pada Hari Ke-5 (16 Juli 2019) (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
32	14.20	690,5	43,065	991,013	4179	784,425	40,307	5,138
33.	14.30	763,6	43,080	991,010	4179	867,469	37,647	4,340
34.	14.40	713,7	42,075	991,410	4179	810,781	57,107	7,043
35.	14.50	700,5	41,080	991,802	4179	795,786	77,675	9,761
36.	15.00	636,9	40,985	991,840	4179	723,534	70,374	9,726
37.	15.10	604,3	41,375	991,686	4179	686,500	61,355	8,937
38.	15.20	602,5	40,555	992,010	4179	684,455	69,840	10,204
39.	15.30	562,9	39,200	992,522	4178	639,468	78,532	12,281
40.	15.40	561	37,705	993,076	4178	637,310	91,216	14,313
41.	15.50	489,2	37,525	993,142	4178	555,743	84,799	15,259
42.	16.00	117,8	36,715	993,434	4178	133,824	78,262	58,482

UJUNG PANDANG

Lampiran 6 Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-2.

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
1.	09.10	583	32	995,2	4178	1166	50,59	4,34
2.	09.20	420	32	995,2	4178	840	50,59	6,02
3.	09.30	631	34	994,4	4178	1262	50,55	4,01
4.	09.40	592	35	994	4178	1184	25,26	2,13
5.	09.50	588	35	994	4178	1176	25,26	2,15
6.	10.00	652	36	993,62	4178,2	1304	50,51	3,87
7.	10.10	660	38,5	992,67	4178,7	1320	63,09	4,78
8.	10.20	699	40	992,1	4179	1398	50,44	3,61
9.	10.30	825	43	990,9	4179,6	1650	75,58	4,58
10.	10.40	850	43	990,9	4179,6	1700	75,58	4,45
11.	10.50	692	43	990,9	4179,6	1384	75,58	5,46
12.	11.00	562	43	990,9	4179,6	1124	75,58	6,72
13.	11.10	549	44	990,5	4179,8	1098	50,37	4,59
14	11.20	244	44	990,5	4179,8	488	50,37	10,32
15.	11.30	582	44	990,5	4179,8	1164	50,37	4,33
16.	11.40	694	44	990,5	4179,8	1388	50,37	3,63
17.	11.50	681	45	990,1	4180	1362	75,53	5,55
18.	12.00	815	46	989,7	4180,2	1630	50,34	3,09
19.	12.10	715	45	990,1	4180	1430	25,18	1,76
20.	12.20	667	44	990,5	4179,8	1334	50,37	3,78
21.	12.30	769	44	990,5	4179,8	1538	50,37	3,28
22.	12.40	591	44	990,5	4179,8	1182	50,37	4,26
23.	12.50	761	44	990,5	4179,8	1522	50,37	3,31
24.	13.00	543	44	990,5	4179,8	1086	50,37	4,64
25.	13.10	419	44,5	990,3	4179,9	838	62,95	7,51
26.	13.20	521	45	990,1	4189	1042	75,69	7,26
27.	13.30	759	44	990,5	4179,8	1518	100,74	6,64
28.	13.40	121	42,5	991,1	4179,5	242	88,20	36,44
29.	13.50	655	43,5	990,7	4179,7	1310	113,36	8,65
30.	14.00	210	34,5	994,2	4178	420	63,17	15,04

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-2 (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
31.	14.10	117	34	994,4	4178	234	50,55	21,60
32	14.20	116	34	994,4	4178	232	50,55	21,79
33.	14.30	55	34	994,4	4178	110	50,55	45,95
34.	14.40	187	34	994,4	4178	374	50,55	13,52
35.	14.50	153	34	994,4	4178	306	50,55	16,52
36.	15.00	166	35	994	4178	332	75,79	22,83
37.	15.10	136	34	994,4	4178	272	50,55	18,58
38.	15.20	63	35	994	4178	126	75,79	60,15
39.	15.30	55	33,5	994,6	4178	110	37,92	34,47
40.	15.40	78	33	994,8	4178	156	75,85	48,62
41.	15.50	129	33	994,8	4178	258	75,85	29,40
42.	16.00	130	33	994,8	4178	260	75,85	29,17

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-3.

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
1.	09.10	209	33	994,8	4178	418	25,28	6,05
2.	09.20	632	35	994,4	4178	1264	25,27	2,00
3.	09.30	611	35	994,4	4178	1222	25,27	2,07
4.	09.40	645	35,5	994	4178	1290	12,63	0,98
5.	09.50	421	37,5	993	4178,5	842	12,62	1,50
6.	10.00	792	38,5	992,6	4178,7	1584	12,62	0,80
7.	10.10	738	43,5	991,1	4179,5	1476	12,60	0,85
8.	10.20	728	43,5	990,7	4179,7	1456	12,60	0,87
9.	10.30	738	44	990,5	4178,8	1476	50,36	3,41
10.	10.40	132	38,5	992,6	4178,7	264	12,62	4,78
11.	10.50	135	36,5	993,4	4178,3	270	12,63	4,68
12.	11.00	158	35	994	4178	316	25,26	7,99
13.	11.10	172	39	992,4	4178,8	344	25,23	7,33
14	11.20	296	41	991,7	4179,2	592	25,21	4,26
15.	11.30	762	43	990,9	4179,6	1524	25,19	1,65
16.	11.40	860	42,5	991,1	4179,5	1720	88,20	5,13
17.	11.50	113	37,5	993	4178,5	226	63,10	27,92
18.	12.00	135	35	994	4178	270	25,26	9,36
19.	12.10	128	32	995,2	4178	256	101,18	39,52
20.	12.20	161	38	993,6	4178,2	322	50,51	15,69
21.	12.30	136	37,5	993	4178,5	272	63,10	23,20
22.	12.40	753	39	992,4	4178,8	1506	25,23	1,68
23.	12.50	608	41,5	991,5	4179,3	1216	12,60	1,04
24.	13.00	732	41,5	991,5	4179,3	1464	12,60	0,86
25.	13.10	756	42	991,3	4179,4	1512	25,20	1,67
26.	13.20	892	41,5	992,1	4179	1784	37,83	2,12
27.	13.30	750	41	994	4178	1500	75,79	5,05
28.	13.40	779	43	994,4	4178	1558	126,37	8,11
29.	13.50	450	42	994	4178	900	101,05	11,23
30.	14.00	256	40	993,6	4178,2	512	151,53	29,60
31.	14.10	171	35	993,8	4178,1	342	25,26	7,39

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-3 (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
32	14.20	148	34	994,4	4178	296	50,55	17,08
33.	14.30	187	35	994	4178	374	25,26	6,75
34.	14.40	238	37	993,6	4178,2	476	25,25	5,31
35.	14.50	217	35,5	993,8	4178,1	434	63,15	14,55
36.	15.00	104	35	994	4178	208	50,53	24,29
37.	15.10	253	35	996,7	4178	506	50,66	10,01
38.	15.20	135	35	996,7	4178	270	50,66	18,76
39.	15.30	78	35	996,7	4178	156	50,66	32,48
40.	15.40	129	35	996,7	4178	258	50,66	19,64
41.	15.50	89	35	996,7	4178	178	50,66	28,46
42.	16.00	55	35	996,7	4178	110	50,66	46,06

UJUNG PANDANG

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-4.

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
1.	09.10	195	34	994,4	4178	390	50,55	12,96
2.	09.20	211	34	994,8	4178	422	50,57	11,98
3.	09.30	178	33	994,8	4178	356	25,28	7,10
4.	09.40	151	33	994,8	4178	302	25,28	8,37
5.	09.50	121	33	994,8	4178	242	25,28	10,45
6.	10.00	377	33	994,8	4178	754	25,28	3,35
7.	10.10	591	34	994,8	4178	1182	50,57	4,28
8.	10.20	428	38	992,86	4178,6	856	50,48	5,90
9.	10.30	298	37	993,2	4178,4	596	25,25	4,24
10.	10.40	392	39	992,4	4178,8	784	25,23	3,22
11.	10.50	380	39	992,4	4178,8	760	25,23	3,32
12.	11.00	765	40	992,1	4179	1530	50,44	3,30
13.	11.10	601	40	992,1	4179	1202	50,44	4,20
14	11.20	565	40	992,1	4179	1130	50,44	4,46
15.	11.30	572	40	992,1	4179	1144	50,44	4,41
16.	11.40	563	40	992,1	4179	1126	50,44	4,48
17.	11.50	382	40	992,1	4179	764	50,44	6,60
18.	12.00	214	38	992,86	4178,6	428	50,48	11,79
19.	12.10	271	38	992,86	4178,6	542	50,48	9,31
20.	12.20	335	38	992,86	4178,6	670	50,48	7,53
21.	12.30	280	38	992,86	4178,6	560	50,48	9,01
22.	12.40	365	38	992,86	4178,6	730	50,48	6,91
23.	12.50	250	36	993,62	4178,2	500	50,51	10,10
24.	13.00	280	36	993,62	4178,2	560	50,51	9,02
25.	13.10	268	36	993,62	4178,2	536	50,51	9,42
26.	13.20	311	36	993,62	4178,2	622	50,51	8,12
27.	13.30	277	36	993,62	4178,2	554	50,51	9,12
28.	13.40	370	36	993,62	4178,2	740	50,51	6,83
29.	13.50	276	36	993,62	4178,2	552	50,51	9,15
30.	14.00	263	34,5	994,2	4178	526	63,17	12,01
31.	14.10	221	34	994,8	4178	442	50,57	11,44

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-4 (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
32	14.20	172	34	994,8	4178	344	50,57	14,70
33.	14.30	213	34	994,8	4178	426	50,57	11,87
34.	14.40	189	34	994,8	4178	378	50,57	13,38
35.	14.50	208	34	994,8	4178	416	50,57	12,16
36.	15.00	209	34	994,8	4178	418	50,57	12,10
37.	15.10	148	34	994,8	4178	296	50,57	17,08
38.	15.20	151	34	994,8	4178	302	50,57	16,74
39.	15.30	168	34	994,8	4178	336	50,57	15,05
40.	15.40	162	34	994,8	4178	324	50,57	15,61
41.	15.50	150	34	994,8	4178	300	50,57	16,86
42.	16.00	127	34	994,8	4178	254	50,57	19,91

UJUNG PANDANG

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-5.

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
1.	09.10	120	27	996,6	4179,2	240	25,34	10,56
2.	09.20	120	27	996,6	4179,2	240	25,34	10,56
3.	09.30	120	27	996,6	4179,2	240	25,34	10,56
4.	09.40	120	27	996,6	4179,2	240	25,34	10,56
5.	09.50	118	27	996,6	4179,2	236	25,34	10,74
6.	10.00	161	27	996,6	4179,2	322	25,34	7,87
7.	10.10	113	27	996,6	4179,2	226	25,34	11,21
8.	10.20	125	28,5	996,3	4178,6	250	12,66	5,07
9.	10.30	212	28,5	996,1	4178,6	424	12,66	2,99
10.	10.40	278	29,5	995,6	4178,2	556	12,65	2,28
11.	10.50	282	31	995,6	4178	564	25,30	4,49
12.	11.00	271	31	994,8	4178	542	25,28	4,66
13.	11.10	263	33	994,8	4178	526	25,28	4,81
14	11.20	283	33	994,8	4178	566	25,28	4,47
15.	11.30	291	33	994,8	4178	582	25,28	4,34
16.	11.40	229	35,5	994,8	4178	458	37,93	8,28
17.	11.50	232	33	994,8	4178	464	25,28	5,45
18.	12.00	209	33	994,8	4178	418	25,28	6,05
19.	12.10	238	33	994,8	4178	476	25,28	5,31
20.	12.20	305	34	994,4	4178	610	25,27	4,14
21.	12.30	321	34	994,4	4178	642	25,27	3,94
22.	12.40	518	37	993,2	4178,4	1036	25,25	2,44
23.	12.50	471	33	994,8	4178	942	25,28	2,68
24.	13.00	238	34	994,4	4178	476	25,27	5,31
25.	13.10	142	34	994,4	4178	284	25,27	8,90
26.	13.20	127	37	993,2	4178,4	254	25,25	9,94
27.	13.30	193	37	993,2	4178,4	386	25,25	6,54
28.	13.40	274	36,5	993,4	4178,3	548	37,88	6,91
29.	13.50	142	35	994	4178	284	25,26	8,90
30.	14.00	209	35	994	4178	418	25,26	6,04
31.	14.10	385	33	994,8	4178	770	25,28	3,28

Data Hasil Analisis Pemanas Air Surya Dengan PCM Parafin Wax Pada Hari Ke-5 (Lanjutan).

No.	Pukul (WITA)	G_{bt} (W/m^2)	T_{rk} (^0C)	ρ_w (kg/m^3)	C_p (J/kg^0C)	Q_{in} (W)	Q_{abs} (W)	η (%)
32	14.20	341	33	994,8	4178	682	25,28	3,71
33.	14.30	185	31	995,6	4178	370	25,30	6,84
34.	14.40	183	31	995,6	4178	366	25,30	6,91
35.	14.50	214	33	994,8	4178	428	25,28	5,91
36.	15.00	81	33	994,8	4178	162	25,28	15,61
37.	15.10	176	31	995,6	4178	352	25,30	7,19
38.	15.20	183	33	994,8	4178	366	25,28	6,91
39.	15.30	176	33	994,8	4178	352	25,28	7,18
40.	15.40	76	33	994,8	4178	152	25,28	16,63
41.	15.50	68	33	994,8	4178	136	25,28	18,59
42.	16.00	45	33	994,8	4178	90	25,28	28,09

UJUNG PANDANG

Lampiran 7 Tabel Sifat-Sifat Fisik Air

TABLE A–9

Properties of saturated water

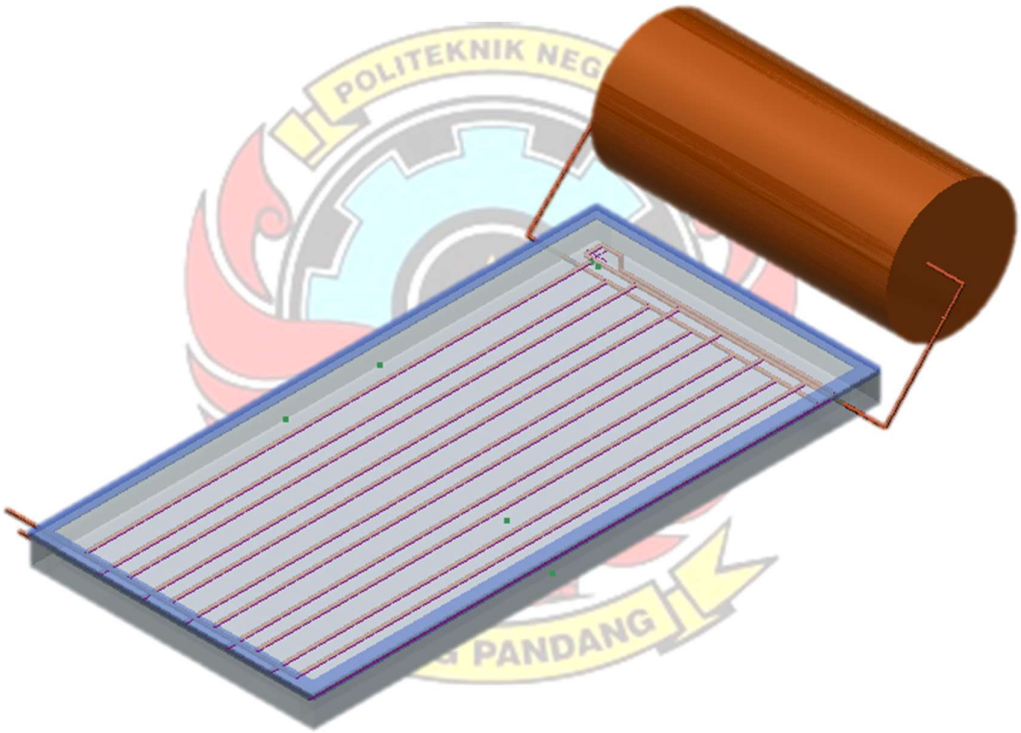
Temp. T, °C	Saturation Pressure P_{sat}, kPa	Density ρ, kg/m³ Liquid	Density ρ, kg/m³ Vapor	Enthalpy of Vaporization h_{fg}, kJ/kg	Specific Heat c_p, J/kg·K Liquid	Specific Heat c_p, J/kg·K Vapor	Thermal Conductivity k, W/m·K Liquid	Thermal Conductivity k, W/m·K Vapor	Dynamic Viscosity μ, kg/m·s Liquid	Dynamic Viscosity μ, kg/m·s Vapor	Prandtl Number Pr Liquid	Prandtl Number Pr Vapor	Volume Expansion Coefficient β, 1/K Liquid
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213×10^{-3}	1.330×10^{-5}	1.33	1.01	0.913×10^{-3}
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197×10^{-3}	1.365×10^{-5}	1.24	1.02	0.970×10^{-3}
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183×10^{-3}	1.399×10^{-5}	1.16	1.02	1.025×10^{-3}
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170×10^{-3}	1.434×10^{-5}	1.09	1.05	1.145×10^{-3}
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160×10^{-3}	1.468×10^{-5}	1.03	1.05	1.178×10^{-3}
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150×10^{-3}	1.502×10^{-5}	0.983	1.07	1.210×10^{-3}
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142×10^{-3}	1.537×10^{-5}	0.947	1.09	1.280×10^{-3}
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134×10^{-3}	1.571×10^{-5}	0.910	1.11	1.350×10^{-3}
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122×10^{-3}	1.641×10^{-5}	0.865	1.15	1.520×10^{-3}
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111×10^{-3}	1.712×10^{-5}	0.836	1.24	1.720×10^{-3}
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102×10^{-3}	1.788×10^{-5}	0.832	1.35	2.000×10^{-3}
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094×10^{-3}	1.870×10^{-5}	0.854	1.49	2.380×10^{-3}
300	8,581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.086×10^{-3}	1.965×10^{-5}	0.902	1.69	2.950×10^{-3}
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078×10^{-3}	2.084×10^{-5}	1.00	1.97	
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.070×10^{-3}	2.255×10^{-5}	1.23	2.43	
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.060×10^{-3}	2.571×10^{-5}	2.06	3.73	
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043×10^{-3}	4.313×10^{-5}			

Note 1: Kinematic viscosity ν and thermal diffusivity α can be calculated from their definitions, $\nu = \mu/\rho$ and $\alpha = k/\rho c_p = \nu/\text{Pr}$. The temperatures 0.01°C, 100°C, and 374.14°C are the triple-, boiling-, and critical-point temperatures of water, respectively. The properties listed above (except the vapor density) can be used at any pressure with negligible error except at temperatures near the critical-point value.

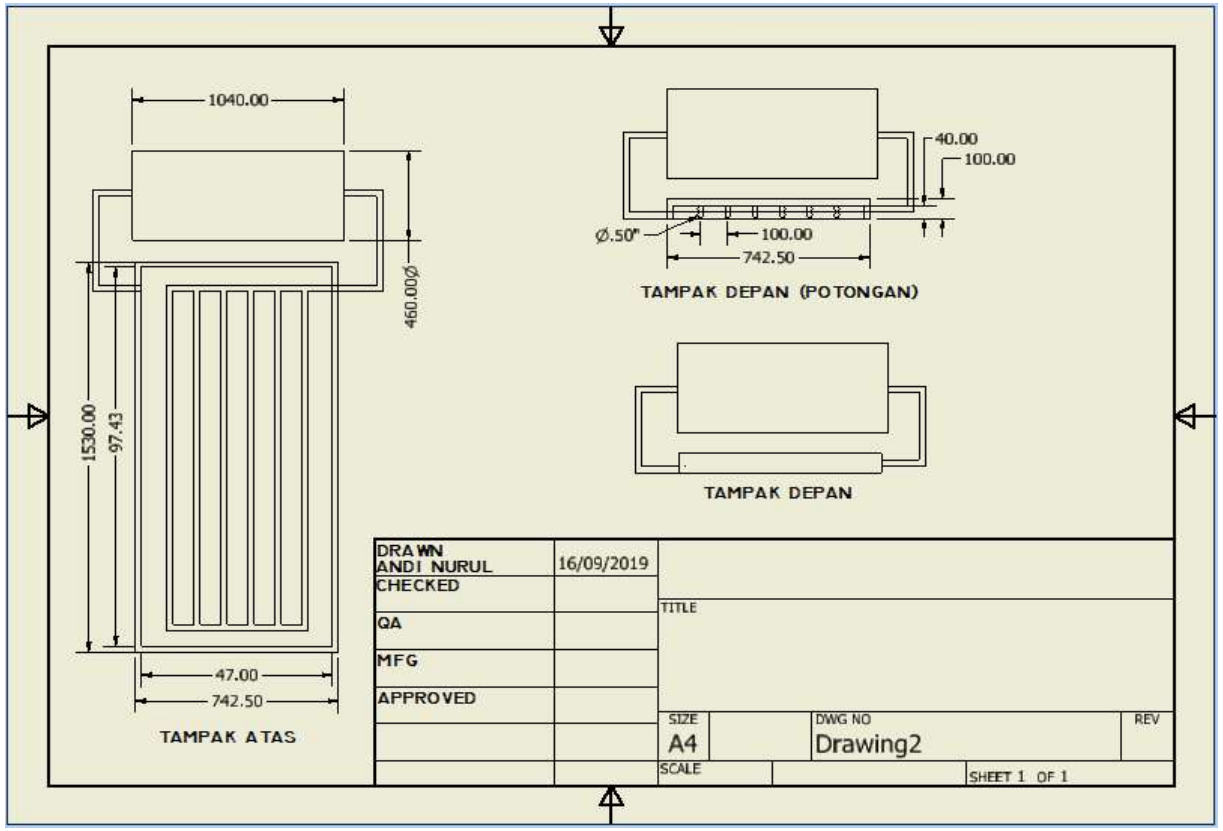
Note 2: The unit kJ/kg·°C for specific heat is equivalent to kJ/kg·K, and the unit W/m·°C for thermal conductivity is equivalent to W/m·K.

Source: Viscosity and thermal conductivity data are from J. V. Sengers and J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291–1322. Other data are obtained from various sources or calculated.

Lampiran 8 Kerangka Pipa Absorber Dan Pipa Utama



Kerangka Pipa Absorber Dan Pipa Utama



Lampiran 9 Dokumentasi Kegiatan

Pembuatan sampel pengujian konduktivitas termal

Sampel pengujian konduktivitas termal

Pembuatan PCM dan pemasangan pada pemanas air surya

Pengetesan sensor thermokopel

Perakitan Pemanas Air Surya

LEMBAR REVISI JUDUL SKRIPSI

Nama : Kumaya Aikhatun Nu'ma / Andi Nurul Azisah .

NIM : ~~A42 15 011~~ / 442 15 012

Catatan Daftar Revisi Penguji :

No	Nama	Uraian	Tanda Tangan
①	Dr. Jamal, ST, M.T.	• Metode perhitungan efisiensi waktu berjalan (Δt) thdp radiasi MH. • efisiensi PCM saat, cahaya matahari Redup (diffuse). • $\eta \approx 60\%$ ← ???	
②	Musrady Mulyadi, S.ST, MT.	• penjelasan metode analisis % pasir silika (SiO_2). • penjelasan ΔT. hal. 60. mengapa selisih Temp. berbeda. • penjelasan penggunaan nomenclature, hal, 47, hal 50. (grafik)	18/09 2019
③	Abdul Rahman, S.ST. MT.	• Metode perhitungan kalor lumpur pipa. • Gambar teknik (Gambar perancangan) yg standar.	19/09 2019
4.	Dr Junaedi Tayib, M.Pd	• sesuaikan bahasa Tujuan & kesimpulan	

Makassar,
~~Ketua~~ / Sekretaris Panitia Ujian Sidang,

Abdul Rahman
NIP.

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasikan secepatnya ke bagian Akademik.

FM-Q 42.ed.A rev.0