

# RANCANG BANGUN SOLAR SIMULATOR UNTUK PEMANAS AIR TENAGA SURYA

Elfhat Mustaqim<sup>a</sup>, Muhammad Nadjib<sup>b</sup>, Tito Hadji Agung S<sup>c</sup>  
 Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
 Jl. Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia 55183  
 e-mail: <sup>a</sup>[elfathmutstaqim67@gmail.com](mailto:elfathmutstaqim67@gmail.com), <sup>b</sup>[nadjibar@gmail.com](mailto:nadjibar@gmail.com), <sup>c</sup>[titoahas@yahoo.com](mailto:titoahas@yahoo.com)

## Abstrak

Pemanas Air Tenaga Surya (PATS) adalah salah satu penerapan teknologi termal energi matahari yang berfungsi untuk menghasilkan air panas, baik dalam skala rumah tangga maupun industri. Umumnya PATS menggunakan matahari sebagai sumber energi termal yang aplikasinya di luar ruangan (*outdoor*). Hal ini memiliki kelemahan yaitu tidak dapat menjelaskan karakteristik termal karena sumber kalornya berfluktuasi. Oleh karena itu, perlu dibuat alat yang dapat memfasilitasi penelitian untuk mendapatkan karakteristik termal yang konstan pada sistem PATS.

Perancangan ini meliputi desain mekanikal dan elektrikal. Desain mekanikal mulai dari *support frame*, sistem pengatur ketinggian, dan sistem pengatur kemiringan. Kemudian merangkai komponen elektrikal yaitu instalasi lampu, kabel, *miniature circuit breaker* (MCB), dan *voltage regulator*. Selanjutnya pengujian *solar simulator* untuk mendapatkan variasi *heat flux*: 800, 1000, dan 1200 W/m<sup>2</sup>. Kemudian, pengujian pada PATS berisi *phase change material* (PCM) berlangsung dalam proses *charging* selama 98 menit, variabel debit konstan yaitu 2 LPM, dan *heat flux* sebesar 1000 W/m<sup>2</sup>.

Hasil perancangan ini *solar simulator* menghasilkan dimensi utama: Panjang 2,27 m, lebar 1,73 m, dan tinggi 3 m. Lampu yang digunakan adalah *tungsten halogen* 300 W dan 230 V berjumlah 24 buah. Uji coba ini menghasilkan temperatur tertinggi pada *heat transfer fluid* (HTF) sebesar 51,1°C, sedangkan pada PCM sebesar 51,45°C. Solar simulator telah berfungsi sebagai sumber energi termal bagi PATS-PCM.

**Kata kunci:** HTF, PATS sistem aktif, PCM, *solar simulator*.

## Abstract

*Solar water heater (SWH) is one of the technological applications that serves to produce hot water to fulfill both domestic and industry. Commonly, SWH uses solar energy, where applied outdoor. It has a weakness that can't describes characteristic of thermal because irradiation is fluctuating. Therefore, requires to makes a tool to facilitates research to achieve characteristic of thermal stably by SWH.*

*The design consists mechanical and electrical. Design of mechanical consists of support frame, height control system, and tilt regulator. Then strings up design of electrical: installing lamps, cables, miniature circuit breaker (MCB), and voltage regulator. after that is testing solar simulator to set heat flux variation which is 800, 1000, and 1200 W/m<sup>2</sup>. Then testing solar simulator for SWH contains phase change material (PCM), this is to proves function of solar simulator as a source of thermal energy. This testing runs in charging while 98 minutes, debit constantly as 2 LPM, and heat flux as 1000 W/m<sup>2</sup>.*

*The results of design solar simulator have main dimensions: length of 2,27 m, width of 1,73 m, and height 3 m. Lamps are used tungsten halogen within 300 W and 230 V amount of 24. SHW-PCM testing obtains highest average temperature of heat transfer fluid (HTF) is 51,1°C, meanwhile of PCM is 51,45°C. Solar simulator geos well as a source of thermal energy for SWH-PCM.*

**Keywords:** HTF, PCM, *solar simulator*, SWH active system.

## 1. PENDAHULUAN

Pemanas Air Tenaga Surya (PATS) adalah salah satu penerapan teknologi termal energi matahari yang berfungsi untuk menghasilkan air panas [1], baik dalam skala rumah

tangga maupun industri. Umumnya PATS memanfaatkan radiasi matahari dimana memiliki kelemahan intensitas radiasinya yang fluktuatif [2]. Hal ini didukung oleh pernyataan bahwa pengaruh cuaca dan kecepatan angin mempengaruhi nilai efisiensi sistem PATS [3]. Berubah-ubahnya kenaikan temperatur akibat fluktuasi intensitas radiasi matahari menyebabkan kesulitan menyelidiki karakteristik termal *heat transfer fluid* (HTF) dan *phase change material* (PCM) yang berkaitan dengan variasi-variasi yang diperlukan. Karakteristik termal PATS penting diketahui untuk pemilihan sistem yang akan dipilih sesuai kebutuhan. Karakteristik termal PATS dapat diketahui untuk berbagai parameter apabila sumber kalornya konstan.

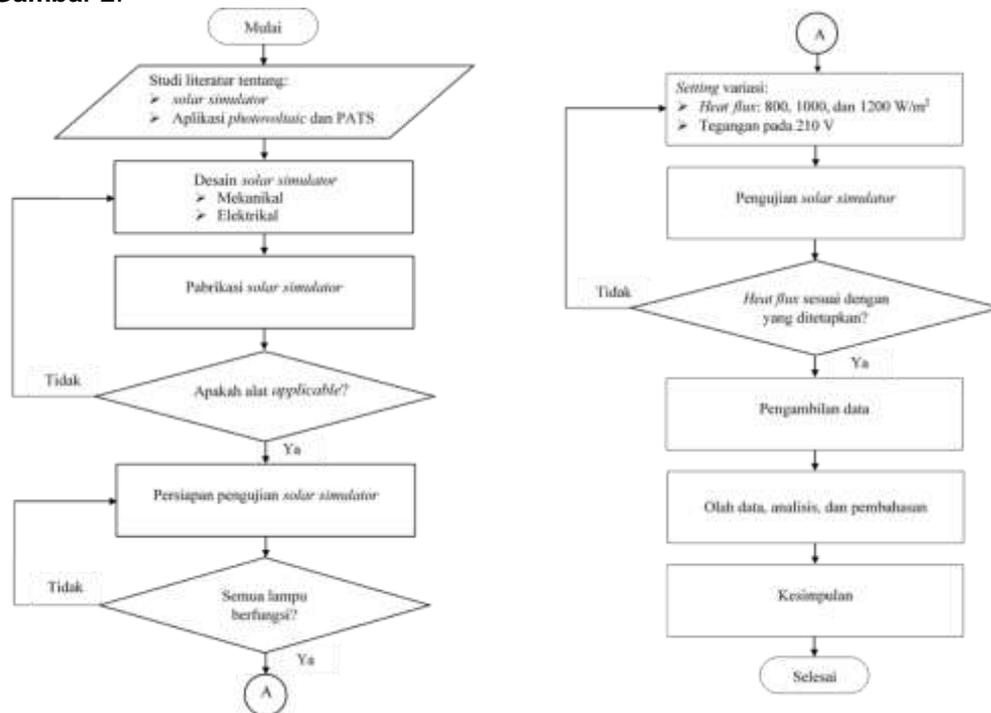
*Solar simulator* banyak dimanfaatkan untuk aplikasi *photovoltaic* dan PATS, diantaranya penelitian pembangkit listrik menggunakan *compound parabolic collector* (CPC). Penelitian ini menghasilkan *heat flux* sebesar 927 kW/m<sup>2</sup>, dimana efisiensi transmisi dayanya sebesar 50% [4]. Penelitian lain fokus mengevaluasi *heat flux* dan ketidakmerataannya, hasilnya menunjukkan *heat flux* sebesar 3,5 kW/m<sup>2</sup> dan ketidakmerataannya mencapai 3% [5]. Penelitian *solar simulator* untuk PATS-PCM juga pernah dilakukan, diantaranya penelitian dalam mendapatkan *heat flux* 200, 400, 600, 800, 1000, dan 12 W/m<sup>2</sup>. Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini yaitu semakin tinggi *heat flux* maka semakin besar nilai energi termal yang diterima [6]. Selain itu, penelitian untuk mendapatkan *heat flux* yang diperoleh menggunakan variasi kemiringan, yaitu 0°, 45°, 90°. Hasilnya menunjukkan bahwa tinggi dan rendahnya *heat flux* dipengaruhi oleh variabel kemiringan [7].

Berdasarkan uraian di atas, bahwa *solar simulator* dapat dijadikan sebagai sumber kalor yang konstan dalam rangka menghasilkan karakteristik termal yang ingin diketahui. *Solar simulator* yang pernah dibuat sebelumnya, belum menyediakan sistem pengatur ketinggian yang baik. Pengaturan ketinggian yang presisi sangat membantu dalam mendapatkan *heat flux* sesuai yang diinginkan. Oleh karena itu, penting dilakukan rancang bangun *solar simulator* untuk memfasilitasi penelitian PATS yang memakai intensitas radiasi yang konstan.

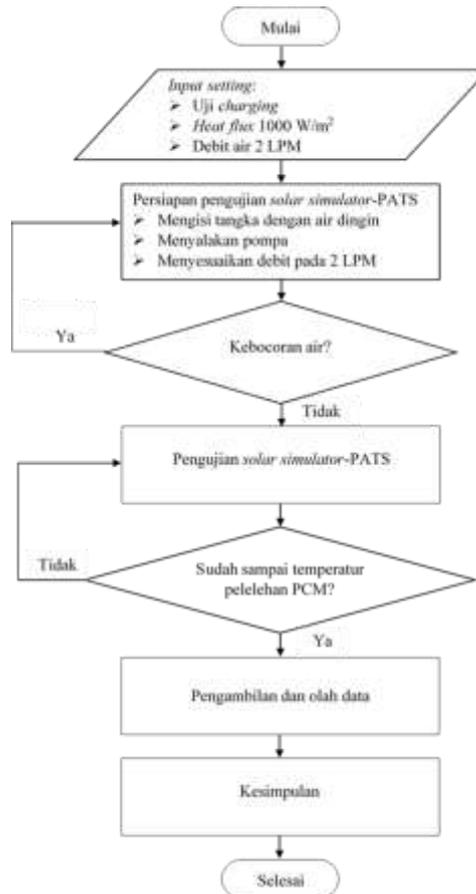
## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Prosedur Perancangan dan Uji coba

Perancangan ini dimulai dari tahap desain, pabrikan, sampai tahap uji coba ditunjukkan pada **Gambar 1**, sedangkan uji coba *solar simulator* pada PATS-PCM ditunjukkan pada **Gambar 2**.



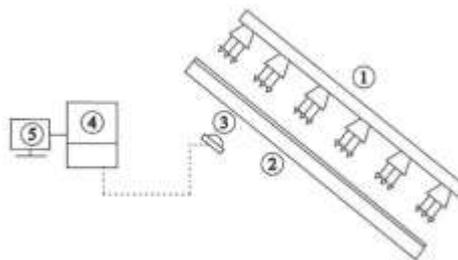
**Gambar 1** Diagram alir perancangan dan uji coba *solar simulator*



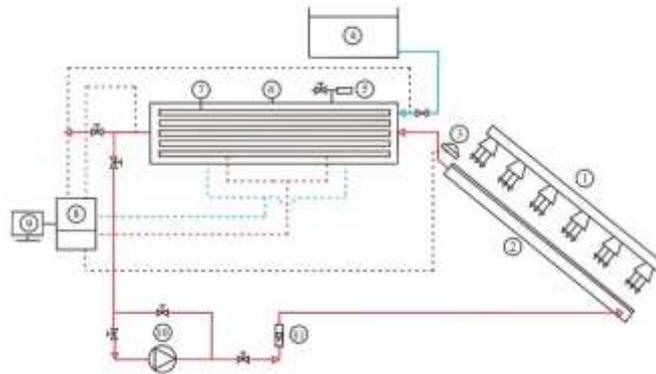
Gambar 2 Diagram alir uji coba solar simulator pada PATS-PCM

## 2.2 Skema Uji Coba

Uji coba solar simulator bertujuan untuk membuktikan bahwa alat ini dapat digunakan sebagai sumber energi termal. Selain itu, uji coba ini untuk mencari tahu besar *heat flux* yang dihasilkan. Skema pengujian solar simulator ditunjukkan pada Gambar 3. Uji coba solar simulator pada PATS-PCM juga penting dilakukan, hal ini bertujuan untuk membuktikan fungsionalisasi solar simulator sebagai sumber kalor. Skema uji coba solar simulator pada PATS-PCM ditampilkan oleh Gambar 4.



Gambar 3 Skema uji coba solar simulator: (1) solar simulator, (2) flat plate collector, (3) pyranometer, (4) akuisisi data, (5) Personal Computer



**Gambar 4** Skema uji coba solar simulator pada PATS-PCM: (1) solar simulator, (2) flat plate collector, (3) pyranometer, (4) tangki air dingin, (5) katup air pembuangan, (6) tangki TES, (7) kapsul PCM, (8) akuisisi data, (9) Personal Computer, (10) pompa, (11) rotameter

### 2.3 Tahap Perancangan dan Uji Coba

Tahap awal penelitian dimulai dengan desain solar simulator menggunakan software Autodesk Inventor Pro. Pertama melakukan proses desain per satuan komponen yang kemudian di-convert ke dalam bentuk drawing untuk kemudian masuk ke tahap pabrikasi. Tahap berikutnya yaitu pabrikasi, dimana hasil akhir dari tahap ini adalah komponen jadi. Selanjutnya adalah merancang elektrikal solar simulator, pada tahap ini meliputi instalasi lampu, kabel, miniature circuit breaker (MCB), dan voltage regulator. Kemudian tahap uji coba, mulai dari mengatur kemiringan, menempatkan pyranometer, dan mengatur ketinggian. Variasi heat flux yang diinginkan yaitu 800, 1000, 1200 W/m<sup>2</sup>. Setelah tahap uji coba selesai, masuk ke tahap pengujian solar simulator pada PATS-PCM untuk membuktikan fungsionalisasi solar simulator sebagai sumber kalor. variasi ketinggian yang digunakan adalah 10, 15, 20 dan 22 cm. Selama pengujian, tegangan yang dipakai adalah 210 V.

### 2.4 Pengambilan, Olah, dan Analisa Data

Software Hobo Weather Station berfungsi untuk merekam data yang masuk ke pyranometer lalu dialihkan ke Microsoft Excel sebagai tabel. Setelah itu, masuk ke tahap menemukan rata-rata dari setiap variasi posisi dan ketinggian. Setelah ditemukan rata-rata per satuan variasi, maka berlanjut ke tahap menghitung rata-rata radiasi kumulatif. Nilai yang dihasilkan harus sesuai heat flux yang diinginkan. Kemudian tahap analisis dimana nilai-nilai yang dihasilkan dianalisa untuk sampai pada kesimpulan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

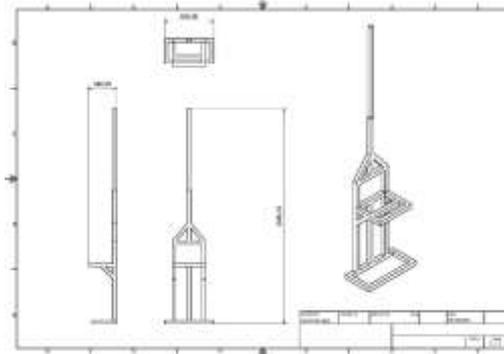
Rancang bangun solar simulator meliputi beberapa langkah, yaitu perancangan mekanikal, perancangan elektrikal, pabrikasi, dan uji coba. Langkah-langkah tersebut dideskripsikan sebagai berikut.

### 3.1 Rancangan Mekanikal

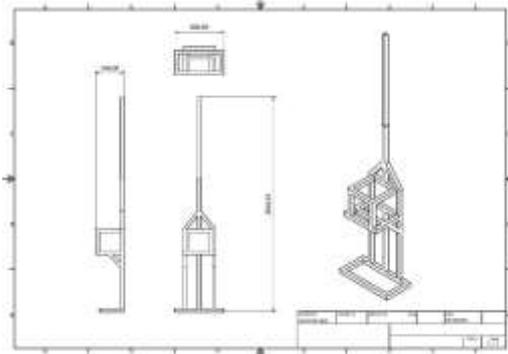
Solar simulator pada pengujian ini terdiri 5 komponen utama yaitu support frame, sistem pengatur kemiringan, sistem pengatur ketinggian, frame lampu, dan lampu. Masing-masing komponen tersebut akan dideskripsikan sebagai berikut.

#### 1. Support Frame

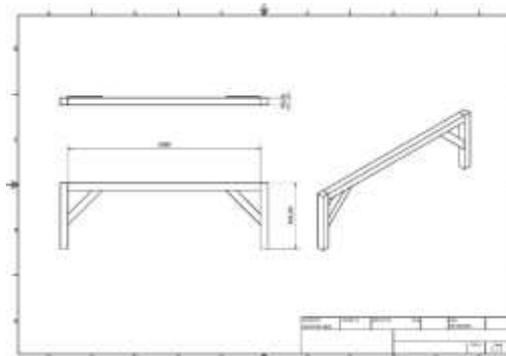
Support frame yang ditunjukkan oleh Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 terbuat dari material besi persegi hollow 5x5 cm dan besi persegi hollow 4x4 cm. Konstruksi support frame memiliki dimensi total: panjang 108 cm, lebar 34 cm, dan tinggi 300 cm.



**Gambar 5** Support frame kanan



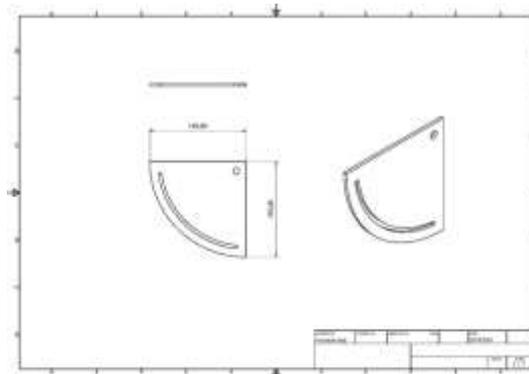
**Gambar 6** Support frame kiri



**Gambar 7** Support frame atas

## 2. Sistem Pengatur Kemiringan

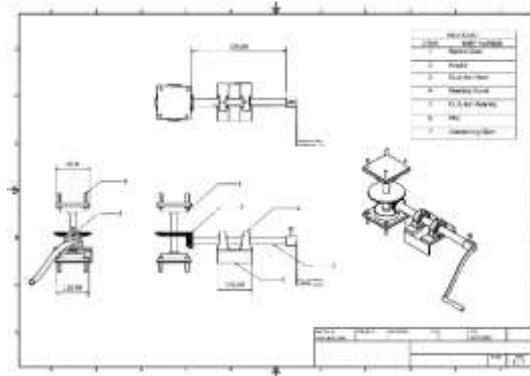
Komponen yang digunakan dalam mengatur kemiringan adalah busur. Menggunakan busur dengan alasan presisi. Busur dibuat dengan bahan plat besi setebal 4 mm. Ukuran total busur yaitu panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tebal 0,4 cm. Busur ditunjukkan seperti pada **Gambar 8**.



**Gambar 8** Sistem pengatur kemiringan

## 3. Sistem Pengatur Ketinggian

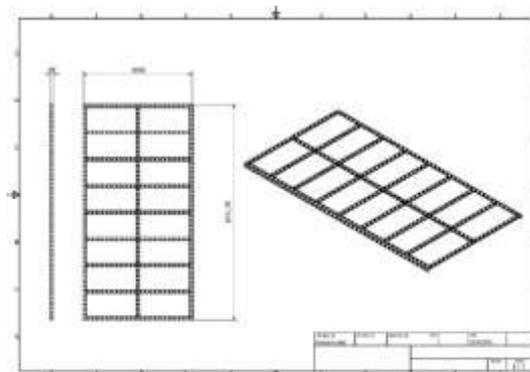
Sistem pengatur ketinggian yang digunakan yaitu *differential gear* yang terdiri dari *bevel gear*, *bearing*, dudukan *bearing* dan engkol yang langsung disambung ke besi silinder pejal dan besi *hollow*. *Differential gear* (**Gambar 9**) digunakan karena memiliki keuntungan tingkat presisi yang tinggi dibandingkan dengan *load lifting winches*. Dimensi total pengatur ketinggian yaitu panjang 54 cm, lebar 18 cm, dan tinggi 23 cm.



**Gambar 9** Sistem pengatur ketinggian

4. *Frame Lampu*

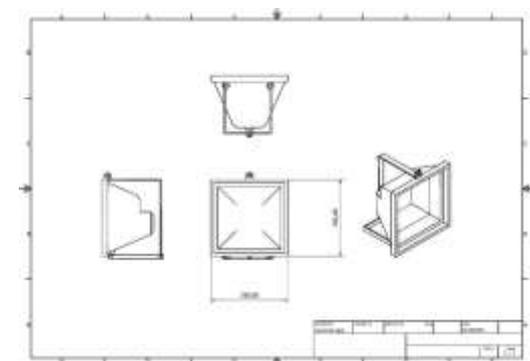
*Frame* lampu (**Gambar 10**) terbuat dari besi siku berlubang ukuran 4x4 cm. Selain berfungsi sebagaiudukan lampu, juga berfungsi sebagai komponen yang disanggakan pada sistem pengatur ketinggian dan kemiringan. Ukuran total *frame* lampu: panjang 203 cm, lebar 105 cm dan tebal 4 cm.



**Gambar 10** *Frame* lampu

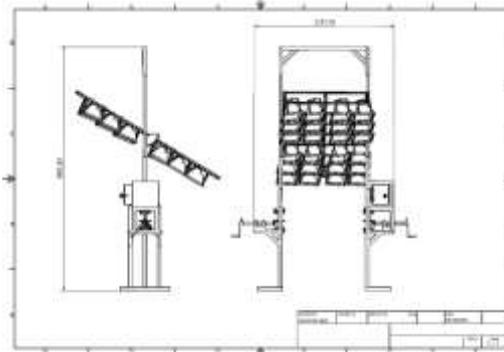
5. *Boks Lampu*

*Boks* lampu yang digunakan mampu meneruskan tegangan sebesar 220 – 240 V dengan frekuensi gelombang sebesar 50 – 60 Hz. *Boks* lampu memiliki berat 400 gram. *Boks* lampu ditunjukkan pada **Gambar 11**.

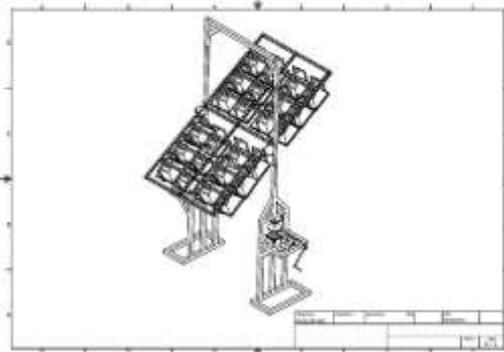


**Gambar 11** *Boks* lampu

Komponen-komponen di atas masuk ke tahap *assembly* dimana semuanya dirangkai menjadi satu alat yang disebut *solar simulator*. Dimensi utama pada *solar simulator* terdiri dari panjang 1,73 m, lebar 2,27 m, dan tinggi 3 m. Hasil akhir *assembly* ditampilkan pada **Gambar 12** pada tampak samping dan depan, juga **Gambar 13** pada tampak isometrik.



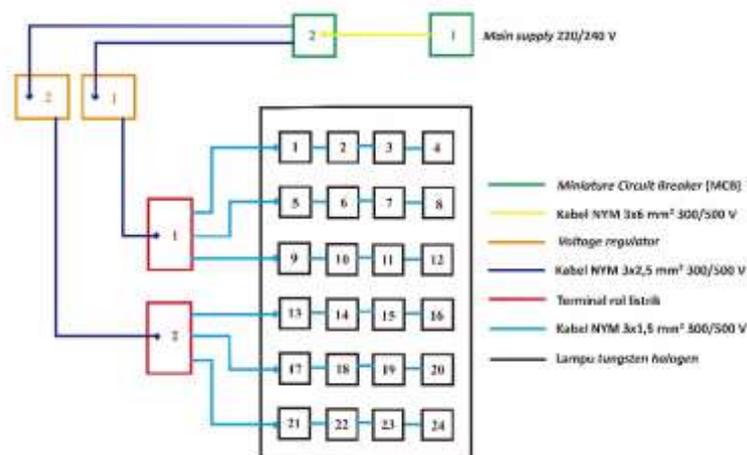
**Gambar 12** solar simulator tampak samping dan depan



**Gambar 13** solar simulator tampak isometrik

### 3.2 Rancangan Elektrikal

Lampu ditempatkan pada posisi tertentu agar distribusi cahayanya merata secara menyeluruh. Blok diagram instalasi solar simulator ditunjukkan pada **Gambar 14**.



**Gambar 14** Blok diagram solar simulator

#### 1. Lampu

Lampu yang digunakan adalah lampu *tungsten halogen* merk Philips Plusline R7s, daya lampu sebesar 300 W dengan tegangan 230 V, dimana total daya sebesar 7200 W. Ukuran *frame* lampu dan jumlah lampu 24 buah sudah menyesuaikan luas penampang kolektor yang berukuran 2000 x 1000 mm. Lampu ditunjukkan pada **Gambar 15**.



**Gambar 15** Lampu tungsten halogen

#### 2. Kabel

Kabel yang digunakan pada alat ini ada 3 jenis, yaitu NYM 3x1,5 mm<sup>2</sup> 300/500 V, NYM 3x2,5 mm<sup>2</sup> 300/500 V dan NYM 3x6 mm<sup>2</sup> 300/500 V. Kabel yang digunakan antara

MCB 1 dengan MCB 2 menggunakan kabel jenis NYM 3x6 mm<sup>2</sup> 300/500 V karena KHA yang dihasilkan mencapai 43,4 A. Lalu kabel yang digunakan mulai dari terminal rol listrik hingga MCB 2 adalah NYM 3x2,5 mm<sup>2</sup> 300/500 V, karena KHA dibagi 2 menjadi 21,7 A. Kabel yang digunakan oleh setiap baris lampu adalah kabel jenis NYM 3x1,5 mm<sup>2</sup> 300/500 V, karena KHA dibagi 6 menjadi 7,2 A.

3. *Miniature Circuit Breaker*

*Miniature Circuit Breaker* (MCB) yang digunakan tipe Standar Nasional Indonesia yaitu SLI-175 dengan arus maksimal 63 A. MCB yang digunakan jenis otomat-H bertujuan untuk mengantisipasi terjadinya arus pendek. MCB yang digunakan adalah MCB 1 fasa, karena menyesuaikan *main supply* 1 fasa 220/240 V.

4. *Voltage Regulator*

*Voltage regulator* yang digunakan merk Krisbow, kapasitas tegangan dan arus sebesar 250 V dan 20 A. Jumlah 2 buah *voltage regulator* adalah alasan keamanan, karena menyesuaikan arus yang dihantarkan ke lampu sebesar 31,2 A. *Voltage regulator* ditunjukkan pada **Gambar 16**.



**Gambar 16** *Voltage regulator*

**3.3 Pabrikasi**

Hasil pabrikasi menampilkan alat secara utuh setelah dilakukan perancangan mekanikal dan elektrikal. Dimensi utama *solar simulator* yaitu Panjang 2,27 m, lebar 1,73 m, dan tinggi 3 m. Hasil pabrikasi ditampilkan pada **Gambar 17**.



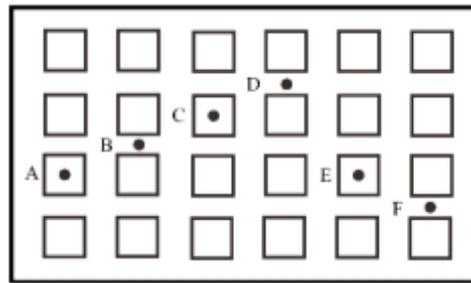
**Gambar 17** Hasil pabrikasi *solar simulator*

**3.4 Hasil Uji**

**3.4.1 Solar Simulator**

Uji *solar simulator* pada tegangan 210 V dengan variasi jarak 10, 15, 20, 22 cm. Variabel lain yang mendukung yaitu posisi penempatan pyranometer pada 6 titik. Uji coba ini ingin menghasilkan 3 variasi *heat flux* yaitu 800, 1000, dan 1200 W/m<sup>2</sup>. Titik-titik

penempatan pyranometer ditunjukkan pada **Gambar 18** dan hasil uji *solar simulator* ditunjukkan pada **Tabel 1**.



**Gambar 18** Titik penempatan pyranometer

**Table 1** Hasil uji *solar simulator*

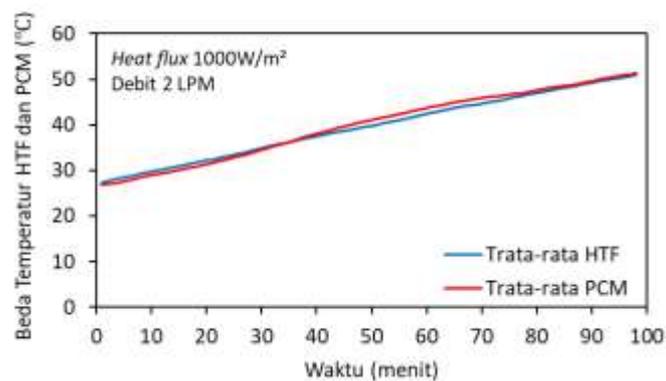
Posisi	Nilai Intensitas Radiasi (W/m <sup>2</sup> )			
	10 cm	15 cm	20 cm	22 cm
A	1256,00	1276,90	1093,12	920,78
B	1110,53	975,81	767,88	705,67
C	1235,01	936,16	761,18	715,67
D	1276,90	1072,60	854,24	767,77
E	1276,90	1007,52	1005,51	814,34
F	1276,90	1080,13	964,54	781,87
Rata-rata	1238,71	1058,19	907,75	784,35

### 3.4.2 Solar Simulator pada PATS-PCM

Langkah pengujian ini dimaksudkan untuk menjamin bahwa *solar simulator* dapat digunakan sebagai sumber energi termal untuk PATS-PCM. Detail pengujian ditunjukkan pada **Tabel 2** dan hasil pengujian disajikan pada **Gambar 19**.

**Table 2** Detail pengujian *solar simulator* pada PATS-PCM

Parameter Pengujian	
Jenis pengujian	<i>Charging</i>
<i>Heat flux</i>	1000 W/m <sup>2</sup>
Debit	2 LPM
Lama waktu pengujian	98 menit



**Gambar 19** Kenaikan temperatur rata-rata pada HTF dan PCM

Berdasarkan **Gambar 19** *solar simulator* dapat digunakan sebagai sumber energi termal. Hal ini diketahui dengan adanya peningkatan temperatur pada material penyimpan kalor, baik berupa HTF maupun PCM. Grafik tersebut membuktikan bahwa kecepatan pemanasan rata-rata pada HTF adalah 0,246°C/menit, sedangkan kecepatan pemanasan rata-rata pada PCM adalah 0,254 °C/menit. Peningkatan temperatur ini sangat jelas dikarenakan adanya energi termal yang masuk dan diterima dengan baik oleh material penyimpan panas. Hasil yang diperoleh di atas, memberi keyakinan bahwa *solar simulator* dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

#### 4. KESIMPULAN

Desain, pabrikan, dan uji *solar simulator* telah dilakukan. Kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. *Solar simulator* yang dirancang memiliki spesifikasi seperti dibawah ini.
  - Bahan rangka utama: besi persegi *hollow* 5x5 cm, besi persegi *hollow* 4x4 cm, besi siku berlubang 4x4 cm, dan besi silinder pejal Ø8 cm.
  - Dimensi utama: panjang 2,27 m, lebar 1,73 m, dan tinggi 3 m.
  - Lampu yang digunakan adalah tungsten halogen 300 W dan 230 V berjumlah 24 buah, dimana total daya lampu adalah 7200 W.
  - *Frame* lampu dibuat dari besi siku berlubang 4x4 cm. Dimensi total *frame* yaitu panjang 2,03 m, lebar 1,05 m dan tebal 0,04 m.
  - Pengatur tegangan menggunakan voltage regulator.
  - *Heat flux* yang dihasilkan pada jarak 15 cm dan tegangan 210 V adalah 1058 W/m<sup>2</sup>.
2. Uji coba *solar simulator* pada sistem PATS-PCM dalam proses *charging* selama 98 menit menghasilkan temperatur HTF tertinggi sebesar 51,1°C dan temperatur PCM tertingginya adalah 51,45°C. *Solar simulator* telah berfungsi sebagai sumber energi termal bagi sistem PATS-PCM.

#### REFERENSI

- [1] Nadjib, M., & Suhanan. 2014. Kajian Perpindahan Kalor pada Pemanas Air Tenaga Surya Menggunakan Kapsul PCM Pipa-banyak Susunan Segaris. Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII, ISBN 978 602 98412 31 7, 430 - 435.
- [2] Mahmoud Shatat, Mayere, Shaffa. 2013. A standardized Empirical Method of Testing Solar Simulator Coupled with Solar Tube and Concentrator Collectors: An Experiment. International Journal of Thermal Environmental Engineering. Volume 5, No. 1 (2013) 13–20.
- [3] Irwan, Leow, Irwanto, Farreq, Amelia, Gomesh, Safwati. 2015. Analysis Air Cooling Mechanism for Photovoltaic Panel by Solar Simulator: An Experiment. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). Volume 5 No. 4, August 2015, pp 636–643. ISSN: 2088-8708.
- [4] Ekman, Brooks, Akbar. 2015. Development of High Flux Solar Simulators for Solar Thermal Research: A Review. Solar Energy Materials & Solar Cells. 141 (2015) 436–446.
- [5] Jawad, Grigoris, Robert, Nesrin. 2014. Description and Characterization of An Adjustable Flux Solar Simulator for Solar Thermal, Thermochemical and Photovoltaic Applications: A Review. Solar Energy. 100 (2014) 179–194.
- [6] Shatat, Shaffa, Francis. 2013. Experimental Testing Method for Solar Light Simulator with An Attached Evacuated Solar Collector: An Experiment. International Journal of Energy and Enviroment. Volume 4, Issue 2, 2013 pp 219–230.

- [7] Norhafana, Ismail, Majid. 2015. Performance Evaluation of Solar Collectors Using A Solar Simulator: An Experiment. Special Issue on Energy. IIUM Engineering Journal, Vol. 16, No. 2, 2015.