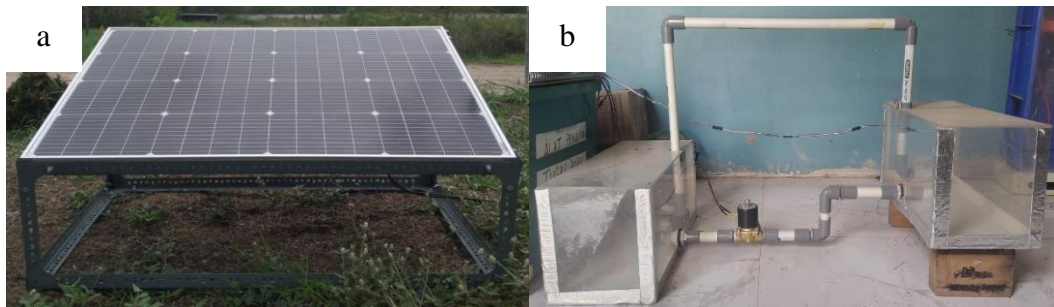


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Rancangan Alat

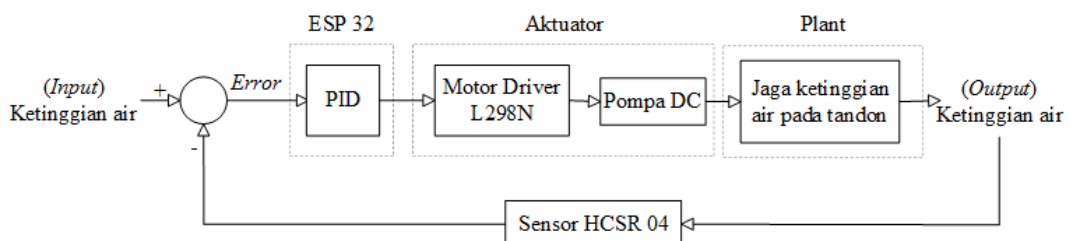
Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan sistem PLTS *off grid* untuk pengisian air pada tandon secara otomatis berbasis IoT. Gambar 4.1 merupakan hasil perancangan alat modul surya 150 WP dan tandon air 20 liter.



Gambar 4.1 (a) Modul Surya 150 WP (b) Tandon Air 20 Liter

Gambar 4.1 perancangan alat merupakan modul surya 150 WP dan tandon 20 liter untuk sistem pengisian air otomatis. Modul surya 150 WP ini akan diamati tegangan, arus, daya dan efisiensi nya. Pengamatan tegangan, arus dan daya modul surya 150 WP dihubungkan ke sensor PZEM 017 dan hasil keluaran nya akan dipantau menggunakan aplikasi blynk. Untuk efisiensi modul surya 150 WP akan dihitung menggunakan persamaan 2.5.

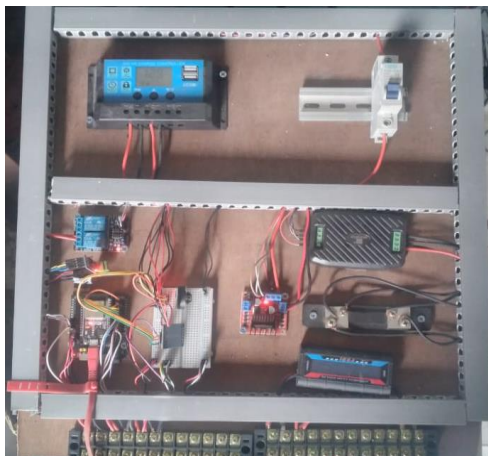
Keluaran modul surya 150 WP akan dimanfaatkan untuk proses pengisian air otomatis pada tandon 20 liter. Berikut ini Gambar 4.2 sistem pengisian air otomatis.



Gambar 4.2 Sistem Pengisian Air Otomatis

Gambar 4.2 merupakan sistem pengisian air otomatis, ketinggian air pada tandon akan dijaga sesuai dengan nilai *set point* yang ditentukan menggunakan sistem kendali PID. Pada penelitian ini nilai *set point* yang ditentukan yaitu 6 cm, 8 cm dan 10 cm. Ketinggian air dapat dipantau menggunakan aplikasi blynk.

Rancangan alat yang selanjutnya adalah rancangan skematik alat. Gambar 4.3 merupakan hasil rancangan skematik alat.



Gambar 4.3 Hasil Rancangan Skematik Alat

Gambar 4.3 merupakan hasil rancangan skematik alat. Rancangan alat ini merupakan tempat peletakkan komponen seperti sensor-sensor, mikrokontroler ESP 32, SCC PWM, dan MCB DC.

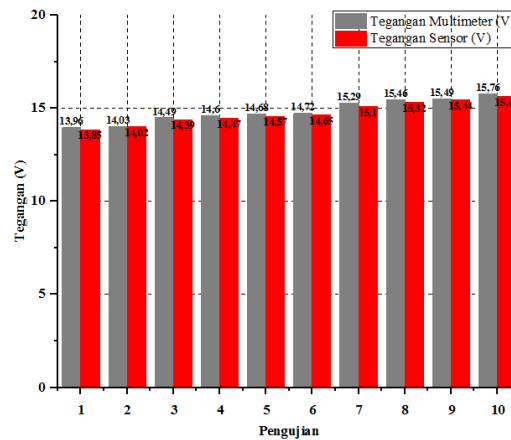
4.2. Pengujian Alat

Pengujian alat merupakan proses pengujian komponen alat yang akan digunakan. Sebelum proses pengambilan data, komponen alat harus diuji terlebih dahulu supaya dapat diketahui bahwa komponen alat yang akan digunakan akurat dan layak digunakan untuk proses pengambilan data. Berikut ini ada beberapa proses pengujian alat pada penelitian ini.

4.2.1. Pengujian Sensor PZEM 017

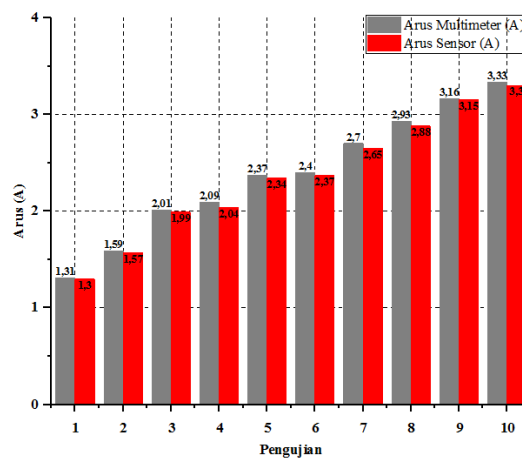
Pengujian sensor PZEM 017 dilakukan untuk mengetahui akurasi sensor sebelum dipakai untuk proses pengambilan data. Sensor PZEM 017 dapat digunakan untuk mengukur nilai tegangan, arus, daya dan energi. Pada pengujian sensor PZEM 017 kali ini, variabel yang diuji yaitu tegangan dan arus. Pengujian

yang pertama dilakukan untuk pengujian tegangan. Berikut Gambar 4.4 grafik pengujian sensor PZEM 017 (tegangan).



Gambar 4.4 Pengujian Sensor PZEM 017 (Tegangan)

Gambar 4.4 merupakan grafik pengujian sensor PZEM 017 (tegangan). Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai tegangan yang terukur oleh sensor PZEM 017 dan nilai tegangan yang terukur oleh clamp meter. Sumber tegangan pada pengujian ini bersumber dari *power supply*. Pada pengujian ini dilakukan sebanyak 10 percobaan pengujian. Setiap pengujian nilai masukan tegangan dari *power supply* berbeda-beda. Hasil pengujian ini memiliki nilai kesalahan sebesar 0,70%. Hasil pengujian sensor PZEM 017 dalam mengukur tegangan masih memiliki nilai yang akurat karena selisih nilai kesalahan yang didapat masih dalam nilai toleransi. Pengujian selanjutnya yaitu pengujian sensor PZEM 017 untuk mengukur arus. Berikut Gambar 4.5 grafik pengujian sensor PZEM 017 (arus).

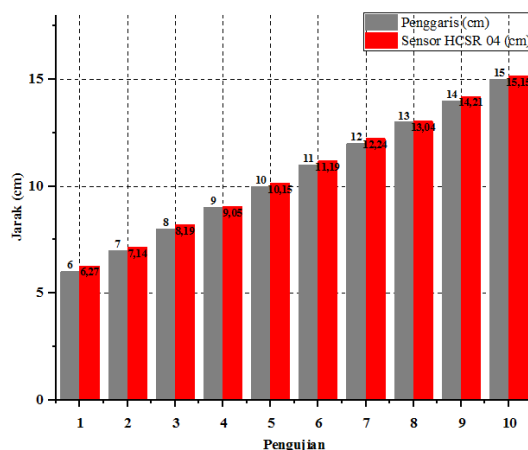


Gambar 4.5 Pengujian Sensor PZEM 017 (Arus)

Gambar 4.5 merupakan grafik pengujian sensor PZEM 017 (arus). Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai arus yang terukur yang terukur oleh sensor PZEM 017 dan nilai arus yang terukur oleh clamp meter. Arus yang diukur adalah arus yang mengalir pada beban motor listrik. Pada pengujian ini dilakukan sebanyak 10 percobaan pengujian. Setiap pengujian nilai masukan tegangan dari *power supply* berbeda-beda sehingga arus yang mengalir pada motor listrik juga berbeda-beda. Hasil pengujian ini memiliki nilai kesalahan sebesar 1,25%. Hasil pengujian sensor PZEM 017 dalam mengukur arus masih memiliki nilai yang akurat karena selisih nilai kesalahan yang didapat masih dalam nilai toleransi. Dari hasil pengujian ini sensor PZEM 017 layak digunakan untuk mengukur nilai arus yang dihasilkan modul surya 150 WP.

4.2.2. Pengujian Sensor HCSR 04

Pengujian sensor HCSR 04 dilakukan untuk mengetahui akurasi sensor sebelum dipakai untuk proses pengambilan data. Sensor HCSR 04 digunakan mengukur ketinggian air pada tandon 20 liter. Berikut Gambar 4.6 grafik pengujian sensor HCSR 04.



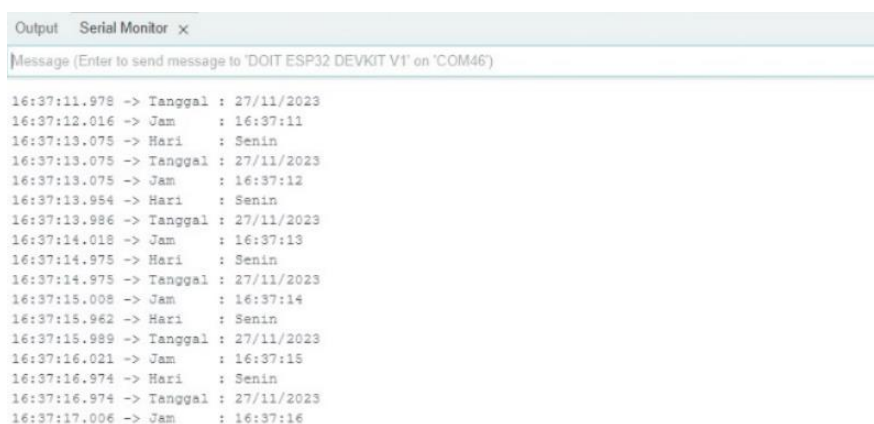
Gambar 4.6 Pengujian Sensor HCSR 04

Gambar 4.6 merupakan grafik pengujian sensor HCSR 04. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai jarak yang terukur oleh sensor HCSR 04 dengan nilai jarak yang terukur dengan penggaris. Pengujian ini dilakukan sebanyak 10 percobaan pengujian. Setiap percobaan jarak yang diukur berbeda-beda. Hasil pengujian ini memiliki nilai kesalahan sebesar 1,75%. Hasil pengujian sensor

HCSR 04 dalam mengukur jarak masih memiliki nilai yang akurat karena selisih nilai kesalahan yang didapat masih dalam nilai toleransi. Dari hasil pengujian ini sensor HCSR 04 layak digunakan untuk mengukur ketinggian air pada tandon 20 liter.

4.2.3. Pengujian Sensor RTC DS3231

Pengujian sensor RTC DS3231 dilakukan untuk mengetahui akurasi waktu yang dihasilkan sensor RTC DS3231 dengan zona Waktu Indonesia Barat (WIB). Berikut Gambar 4.7 pengujian sensor RTC DS3231.



```

Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'DOIT ESP32 DEVKIT V1' on 'COM46')

16:37:11.978 -> Tanggal : 27/11/2023
16:37:12.016 -> Jam : 16:37:11
16:37:13.075 -> Hari : Senin
16:37:13.075 -> Tanggal : 27/11/2023
16:37:13.075 -> Jam : 16:37:12
16:37:13.954 -> Hari : Senin
16:37:13.986 -> Tanggal : 27/11/2023
16:37:14.018 -> Jam : 16:37:13
16:37:14.975 -> Hari : Senin
16:37:14.975 -> Tanggal : 27/11/2023
16:37:15.008 -> Jam : 16:37:14
16:37:15.962 -> Hari : Senin
16:37:15.989 -> Tanggal : 27/11/2023
16:37:16.021 -> Jam : 16:37:15
16:37:16.974 -> Hari : Senin
16:37:16.974 -> Tanggal : 27/11/2023
16:37:17.006 -> Jam : 16:37:16

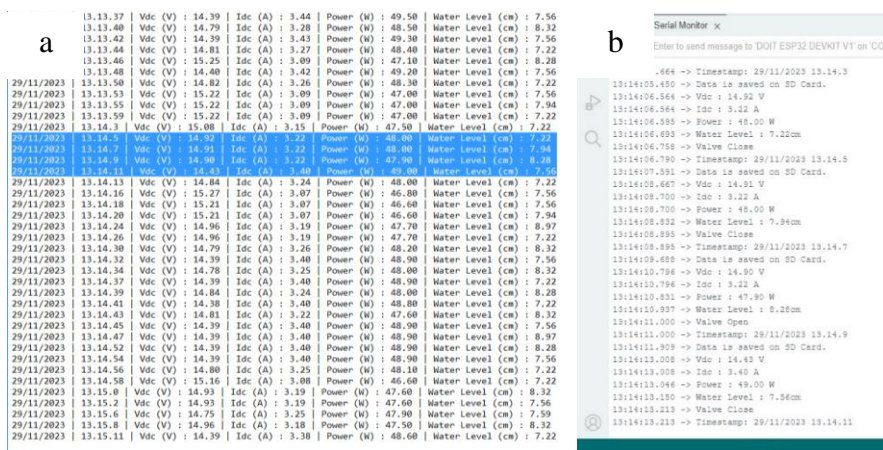
```

Gambar 4.7 Pengujian Sensor RTC DS3231

Gambar 4.7 merupakan pengujian sensor RTC DS3231. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan waktu yang dihasilkan sensor RTC DS3231 dengan waktu toggle timestamp pada aplikasi arduino ide yang sudah disesuaikan dengan zona Waktu Indonesia Barat (WIB). Hasil pengujian ini memiliki selisih waktu 1 detik. Hasil pengujian sensor RTC DS3231 memiliki nilai akurat karena selisih waktu yang didapat masih dalam nilai toleransi.

4.2.4. Pengujian Modul Micro SD

Pengujian modul micro sd dilakukan untuk memastikan bahwa data yang tersimpan sesuai dengan yang diinginkan. Berikut gambar 4.8 pengujian modul micro sd.

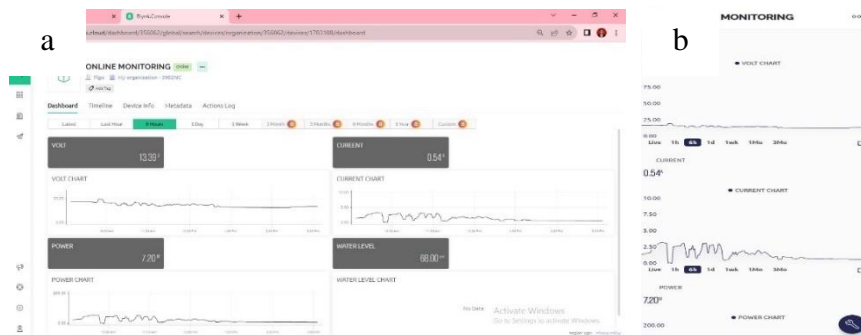


Gambar 4.8 Pengujian Modul Micro SD (a) Hasil Penyimpanan Data (b) Tampilan Serial Monitor

Gambar 4.8 merupakan pengujian sensor modul micro sd. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan data yang tersimpan sensor modul micro sd dan data yang ditampilkan serial monitor pada waktu yang sama. Dapat dilihat data yang tersimpan sensor modul micro sd dan data yang ditampilkan serial monitor tidak ada perbedaan. Format data yang tersimpan sensor micro sd yaitu format txt.

4.2.5. Pengujian Server Blynk

Pengujian server blynk dilakukan untuk mengetahui data yang ditampilkan aplikasi blynk sudah tampil sesuai dan dapat bekerja secara *real time*. Sistem pemantauan menggunakan aplikasi blynk dapat diakses menggunakan website blynk dan aplikasi blynk yang dapat digunakan di *smartphone*. Berikut Gambar 4.9 pengujian aplikasi blynk.

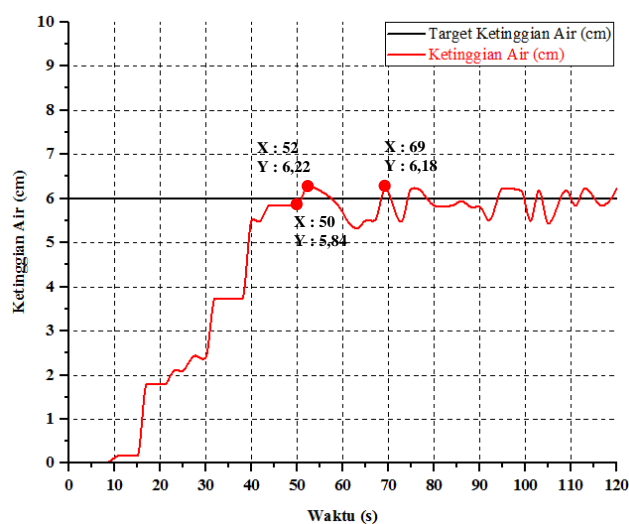


Gambar 4.9 Pengujian Blynk (a) Tampilan Website (b) Tampilan Aplikasi

Gambar 4.9 merupakan pengujian aplikasi blynk. *Website* blynk dan aplikasi blynk sudah dapat menampilkan data yang dikirimkan mikrokontroler ESP 32 dengan baik. Data yang ditampilkan website blynk dan aplikasi blynk pada *smartphone* sudah sesuai.

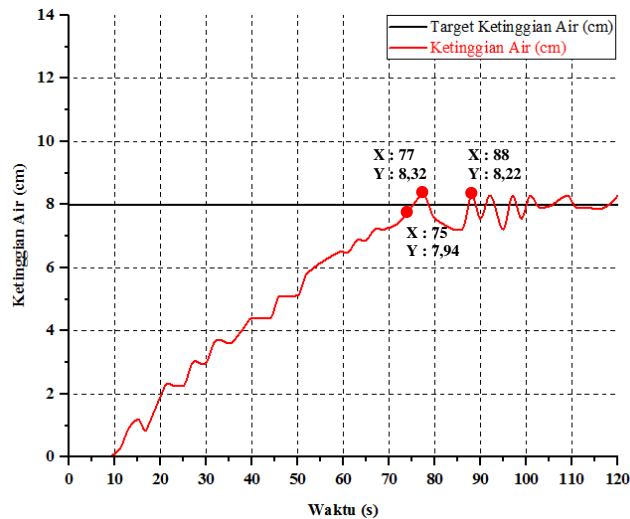
4.2.6. Pengujian Sistem Kendali PID

Penentuan nilai K_p , K_i dan K_d dilakukan dengan cara *trial and error* sampai menemukan nilai yang sesuai dengan sistem kendali PID yang dapat digunakan untuk menjaga ketinggian air 6 cm. Berikut Gambar 4.10 pengujian sistem kendali PID ketinggian air 6 cm.



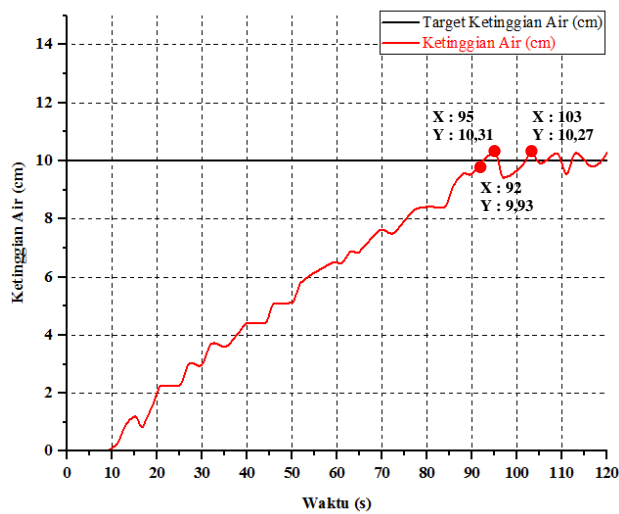
Gambar 4.10 Pengujian Sistem Kendali PID Ketinggian Air 6 cm

Gambar 4.10 merupakan grafik pengujian sistem kendali PID ketinggian air 6 cm. Pada pengujian ini nilai K_p sebesar 305, nilai K_i sebesar 0,0001 dan nilai K_d sebesar 170. *Rise time* (waktu pengisian) yang didapat pada pengujian ini yaitu 49 detik. *Settling time* (waktu respon mencapai titik stabil) yang didapat pada pengujian ini yaitu 68 detik. *Error steady state* (nilai kesalahan) yang didapat pada pengujian ini yaitu 0,18 cm, jika dipresentase nilai kesalahannya yaitu 3 %. *Over shoot* (selisih nilai lonjakan dengan nilai *set point*) yang didapat pada pengujian ini yaitu 0,64 %. Pengujian selanjutnya dilakukan pengujian sistem kendali PID ketinggian air 8 cm. Berikut Gambar 4.11 pengujian sistem kendali PID ketinggian air 8 cm.



Gambar 4.11 Pengujian Sistem Kendali PID Ketinggian Air 8 cm

Gambar 4.11 merupakan grafik pengujian sistem kendali PID ketinggian air 8 cm. Pada pengujian ini nilai K_p sebesar 305, nilai K_i sebesar 0,0001 dan nilai K_d sebesar 170. *Rise time* (waktu pengisian) yang didapat pada pengujian ini yaitu 74 detik. *Settling time* (waktu respon mencapai titik stabil) yang didapat pada pengujian ini yaitu 87 detik. *Error steady state* (nilai kesalahan) yang didapat pada pengujian ini yaitu 0,28 cm, jika dipresentase nilai kesalahannya yaitu 3,5 %. *Over shoot* (selisih nilai lonjakan dengan nilai *set point*) yang didapat pada pengujian ini yaitu 0,48 %. Pengujian selanjutnya dilakukan pengujian sistem kendali PID ketinggian air 10 cm. Berikut Gambar 4.12 pengujian sistem kendali PID ketinggian air 10 cm.

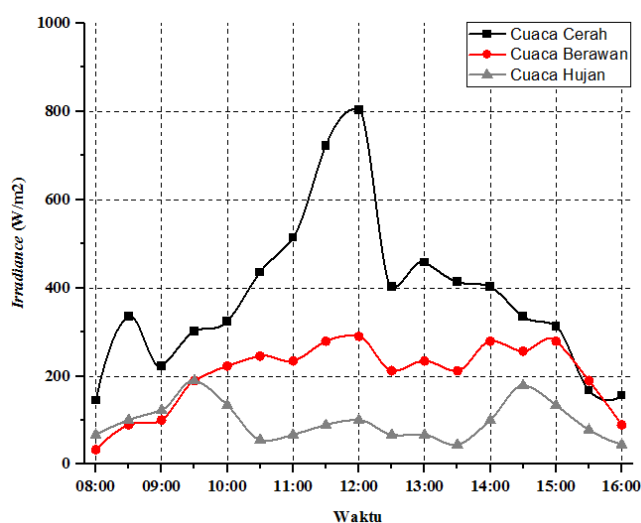


Gambar 4.12 Pengujian Sistem Kendali PID Ketinggian Air 10 cm

Gambar 4.12 merupakan grafik pengujian sistem kendali PID ketinggian air 8 cm. Pada pengujian ini nilai K_p sebesar 305, nilai K_i sebesar 0,0001 dan nilai K_d sebesar 170. *Rise time* (waktu pengisian) yang didapat pada pengujian ini yaitu 91 detik. *Settling time* (waktu respon mencapai titik stabil) yang didapat pada pengujian ini yaitu 102 detik. *Error steady state* (nilai kesalahan) yang didapat pada pengujian ini yaitu 0,27 cm, jika dipresentase nilai kesalahannya yaitu 2,7 %. *Over shoot* (selisih nilai lonjakan dengan nilai *set point*) yang didapat pada pengujian ini yaitu 0,38 %. Dari ketiga hasil pengujian dengan tiga ketinggian yang berbeda, nilai yang didapat masih masuk dalam nilai toleransi. Untuk rincian perhitungan pada pengujian ini dapat dilihat pada (lampiran C-1).

4.3. Pengujian Keluaran Modul Surya 150 WP

Penelitian ini menggunakan modul surya 150 WP jenis *monocrystalline*. Pengujian keluaran modul surya dilakukan dengan tiga kondisi cuaca yang berbeda diantaranya cuaca cerah, cuaca berawan dan cuaca hujan. Setiap cuaca dilakukan tiga hari pengambilan data. Proses pengambilan data keluaran modul surya dilakukan setiap 30 menit dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00. Selama proses pengujian, data akan tersimpan pada modul micro sd. Data juga dapat dipantau secara *real time* melalui *website* blynk dan aplikasi blynk. Modul surya dapat menghasilkan keluaran listrik dengan cara menerima radiasi matahari. Berikut gambar 4.13 data radiasi matahari pengujian hari pertama.



Gambar 4.13 Radiasi Matahari Hari Pertama

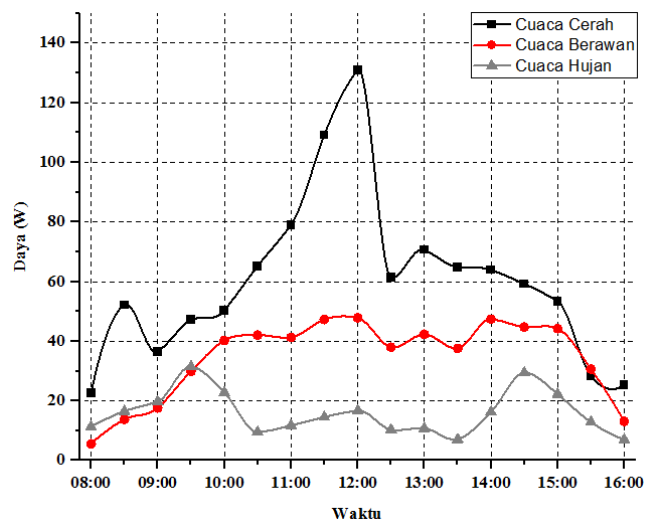
Gambar 4.13 merupakan data radiasi matahari yang didapat dari sensor pyranometer. Pada pengujian hari pertama. Pengujian dilakukan dengan tiga kondisi cuaca berbeda diantaranya cuaca cerah, cuaca berawan dan cuaca hujan. Pengujian dilakukan di hari yang berbeda, untuk rincian data radiasi matahari dapat dilihat di (lampiran A-2 dan A-3).

Grafik berwarna hitam merupakan grafik cuaca cerah. Pada dasarnya peluang terbesar nilai radiasi matahari berada pada puncaknya itu terjadi pada siang hari saat posisi matahari berada tepat diatas modul surya sekitar pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00 jika cuaca dari pagi sampai sore tidak berubah-ubah. Pada pengujian cuaca cerah hari pertama, kondisi cuaca cerah berlangsung dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00. Oleh karena itu data radiasi matahari paling tinggi ada pada siang hari pukul 12.00 dengan nilai radiasi matahari sebesar $803,11 \text{ W/m}^2$. Pada waktu pagi hari dan sore hari nilai radiasi matahari tidak sebesar siang hari dikarenakan radiasi matahari pada waktu tersebut belum berada pada puncaknya.

Grafik berwarna merah merupakan grafik cuaca berawan. Pada pengujian cuaca berawan hari pertama, kondisi cuaca berawan berlangsung dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00. Oleh karena itu data radiasi matahari paling tinggi ada pada pukul 12.00 dengan nilai radiasi matahari sebesar $290,18 \text{ W/m}^2$. Meskipun di siang hari nilai puncak radiasi matahari tidak sebesar nilai puncak radiasi matahari pada kondisi cuaca cerah dikarenakan pada siang hari nya cuaca berawan dan matahari tertutup oleh awan sehingga mempengaruhi nilai radiasi matahari yang diterima sensor pyranometer.

Grafik berwarna abu-abu merupakan grafik cuaca hujan. Pada pengujian cuaca hujan hari pertama, dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00 cuaca mengalami perubahan. Kondisi cuaca hujan berlangsung dari pukul 10.00 sampai dengan pukul 13.30. Oleh karena itu, data radiasi matahari paling tinggi tidak terjadi di siang hari melainkan ada pada pukul 09.30 dengan nilai radiasi matahari sebesar $189,73 \text{ W/m}^2$. Pada siang hari pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00 meskipun posisi matahari tepat berada di atas sensor pyranometer, kondisi cuaca pada waktu tersebut turun hujan dan matahari tertutup oleh awan gelap sehingga mempengaruhi nilai radiasi matahari yang diterima sensor pyranometer. Oleh karena itu, Nilai puncak radiasi matahari ada pada pukul 09.30.

Dari data radiasi matahari yang sudah didapat di tiga kondisi cuaca berbeda, selanjutnya Gambar 4.14 akan ditampilkan data daya keluaran modul surya hari pertama.



Gambar 4.14 Daya Keluaran Modul Surya Hari Pertama

Gambar 4.14 merupakan data daya keluaran yang dihasilkan modul surya. Pada pengujian hari pertama. Pengujian dilakukan dengan tiga kondisi cuaca berbeda diantaranya cuaca cerah, cuaca berawan dan cuaca hujan. Pengujian dilakukan di hari yang berbeda, untuk rincian data daya keluaran dapat dilihat di (lampiran A-2 dan A-3).

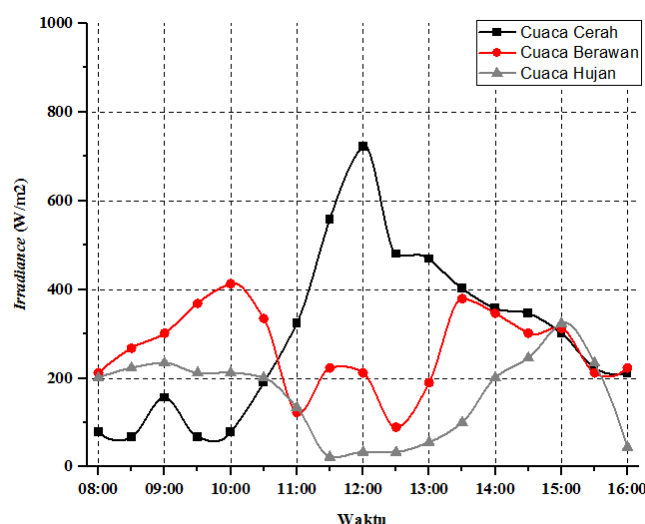
Grafik berwarna hitam merupakan grafik cuaca cerah. Dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14, saat kondisi cuaca cerah nilai daya keluaran modul surya selalu berbanding lurus dengan nilai radiasi matahari. Dikarenakan cuaca cerah berlangsung dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00, nilai daya keluaran modul surya paling tinggi ada pada pukul 12.00 dengan nilai daya keluaran sebesar 130,78 W. Modul surya mampu menghasilkan daya puncaknya pukul 12.00 sama dengan nilai puncak radiasi matahari yang ada pada pukul 12.00.

Grafik berwarna merah merupakan grafik cuaca berawan. Dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13, saat kondisi cuaca berawan nilai daya keluaran modul surya selalu berbanding lurus dengan nilai radiasi matahari. Dikarenakan cuaca berawan berlangsung dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00, nilai daya keluaran modul surya paling tinggi ada pada pukul 12.00 dengan nilai daya keluaran

sebesar 47,85 W. Modul surya mampu menghasilkan daya puncaknya pukul 12.00 sama dengan nilai puncak radiasi matahari yang ada pada pukul 12.00.

Grafik berwarna abu-abu merupakan grafik cuaca hujan. Dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13, saat kondisi cuaca hujan nilai daya keluaran modul surya selalu berbanding lurus dengan nilai radiasi matahari. Dikarenakan cuaca hujan berlangsung dari pukul 10.00 sampai dengan pukul 13.30, nilai daya keluaran modul surya paling tinggi tidak terjadi di siang hari melainkan ada pada pukul 09.30 dengan nilai daya keluaran sebesar 31,46 W. Modul surya mampu menghasilkan daya puncaknya pukul 09.30 sama dengan nilai puncak radiasi matahari yang ada pada pukul 09.30.

Pengujian selanjutnya dilakukan pada hari kedua. Berikut Gambar 4.15 radiasi matahari hari kedua.



Gambar 4.15 Radiasi Matahari Hari Kedua

Gambar 4.15 merupakan data radiasi matahari yang didapat dari sensor pyranometer. Pada pengujian hari kedua. Pengujian dilakukan dengan tiga kondisi cuaca berbeda diantaranya cuaca cerah, cuaca berawan dan cuaca hujan. Pengujian dilakukan di hari yang berbeda, untuk rincian data radiasi matahari dapat dilihat di (lampiran A-3 dan A-4).

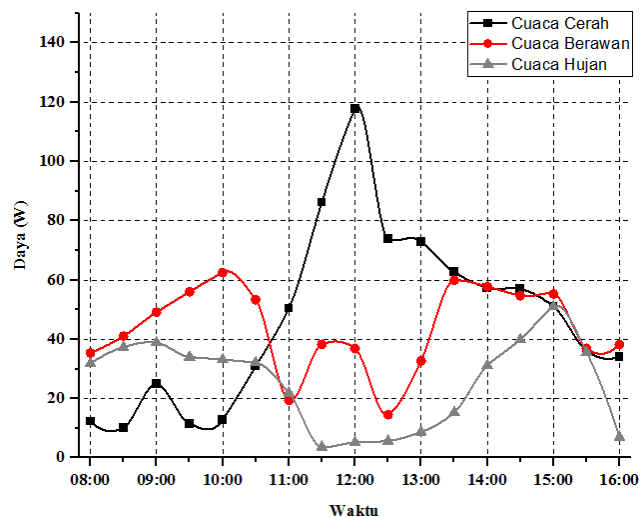
Grafik berwarna hitam merupakan grafik cuaca cuaca cerah. Pada dasarnya peluang terbesar nilai radiasi matahari berada pada puncaknya itu terjadi pada siang hari saat posisi matahari berada tepat diatas modul surya sekitar pukul 11.00 sampai

dengan pukul 13.00 jika cuaca dari pagi sampai sore tidak berubah-ubah. Pada pengujian cuaca cerah hari kedua, dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00 cuaca mengalami perubahan. Pada pagi hari pukul 08.00 sampai dengan pukul 10.30 kondisi cuaca berawan. Tetapi saat di siang hari pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00 kondisi cuaca berubah menjadi cerah. Oleh karena itu data radiasi matahari paling tinggi ada pada pukul 12.00 dengan nilai radiasi matahari sebesar $722,40 \text{ W/m}^2$. Pada waktu pagi hari dan sore hari nilai radiasi matahari tidak sebesar siang hari dikarenakan radiasi matahari pada waktu tersebut belum berada pada puncaknya.

Grafik berwarna merah merupakan grafik cuaca berawan. Pada pengujian cuaca berawan hari kedua, dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00 cuaca mengalami perubahan. Kondisi cuaca berawan berlangsung dari pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00. Oleh karena itu data radiasi matahari paling tinggi ada pada pukul 10.00 dengan nilai radiasi matahari sebesar $412,95 \text{ W/m}^2$. Pada siang hari pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00 meskipun posisi matahari tepat berada di atas sensor pyranometer, kondisi cuaca pada waktu tersebut berawan dan matahari tertutup oleh awan sehingga mempengaruhi nilai radiasi matahari yang diterima sensor pyranometer. Oleh karena itu, Nilai puncak radiasi matahari ada pada pukul 10.00.

Grafik berwarna abu-abu merupakan grafik cuaca hujan. Pada pengujian cuaca hujan hari kedua, dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00 cuaca mengalami perubahan. Kondisi cuaca hujan berlangsung dari pukul 10.30 sampai dengan pukul 14.00. Oleh karena itu, data radiasi matahari paling tinggi ada pada pukul 15.00 dengan nilai radiasi matahari sebesar $323,66 \text{ W/m}^2$. Pada siang hari pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00 meskipun posisi matahari tepat berada di atas sensor pyranometer, kondisi cuaca pada waktu tersebut turun hujan dan matahari tertutup oleh awan gelap sehingga mempengaruhi nilai radiasi matahari yang diterima sensor pyranometer. Oleh karena itu, Nilai puncak radiasi matahari ada pada pukul 15.00.

Dari data radiasi matahari yang sudah didapat di tiga kondisi cuaca berbeda, selanjutnya Gambar 4.16 akan ditampilkan data daya keluaran modul surya hari kedua.



Gambar 4.16 Daya Keluaran Hari Kedua

Gambar 4.16 merupakan data daya keluaran yang dihasilkan modul surya. Pada pengujian hari pertama. Pengujian dilakukan dengan tiga kondisi cuaca berbeda diantaranya cuaca cerah, cuaca berawan dan cuaca hujan. Pengujian dilakukan di hari yang berbeda, untuk rincian data daya keluaran dapat dilihat di (lampiran A-3 dan A-4).

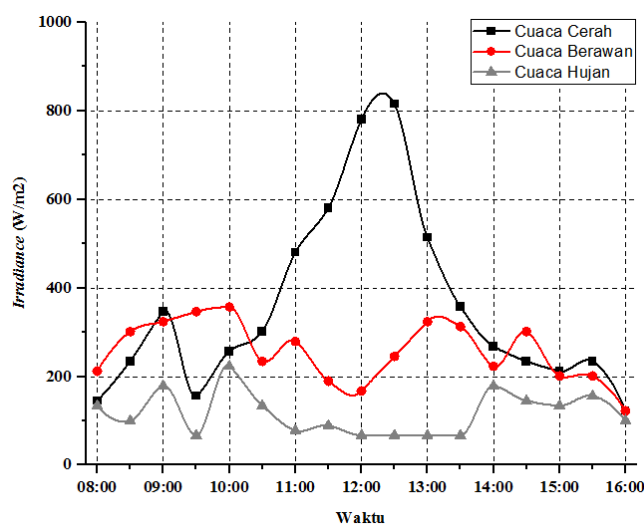
Grafik berwarna hitam merupakan grafik cuaca cerah. Dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16, saat kondisi cuaca cerah nilai daya keluaran modul surya selalu berbanding lurus dengan nilai radiasi matahari. Daya keluaran modul surya paling tinggi ada pada pukul 12.00 dengan nilai daya keluaran sebesar 117,59 W. Meskipun pada pagi hari sempat terjadi cuaca berawan pada pukul 08.00 sampai dengan pukul 10.30, modul surya tetap mampu menghasilkan daya puncaknya pukul 12.00 sama dengan nilai puncak radiasi matahari yang ada pada pukul 12.00 dikarenakan pada pukul 11.00 sampai dengan 13.00 kondisi cuaca cerah.

Grafik berwarna merah merupakan grafik cuaca berawan. Dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15, saat kondisi cuaca berawan nilai daya keluaran modul surya selalu berbanding lurus dengan nilai radiasi matahari. Dikarenakan cuaca berawan berlangsung dari pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00, nilai daya keluaran modul surya paling tinggi tidak terjadi di siang hari melainkan ada pada pukul 10.00 dengan nilai daya keluaran sebesar 63,55 W. Modul surya mampu

menghasilkan daya puncaknya pukul 10.00 sama dengan nilai puncak radiasi matahari yang ada pada pukul 10.00.

Grafik berwarna abu-abu merupakan grafik cuaca hujan. Dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15, saat kondisi cuaca hujan nilai daya keluaran modul surya selalu berbading lurus dengan nilai radiasi matahari. Dikarenakan cuaca hujan berlangsung dari pukul 11.00 sampai dengan pukul 14.00, nilai daya keluaran modul surya paling tinggi ada pada pukul 15.00 dengan nilai daya keluaran sebesar 50,98 W. Modul surya mampu menghasilkan daya puncaknya pukul 15.00 sama dengan nilai puncak radiasi matahari yang ada pada pukul 15.00.

Pengujian selanjutnya dilakukan pada hari ketiga. Berikut Gambar 4.17 radiasi matahari hari ketiga.



Gambar 4.17 Radiasi Matahari Hari Ketiga

Gambar 4.17 merupakan data radiasi matahari yang didapat dari sensor pyranometer. Pada pengujian hari pertama. Pengujian dilakukan dengan tiga kondisi cuaca berbeda diantaranya cuaca cerah, cuaca berawan dan cuaca hujan. Pengujian dilakukan di hari yang berbeda, untuk rincian data radiasi matahari dapat dilihat di (lampiran A-4 dan A-5).

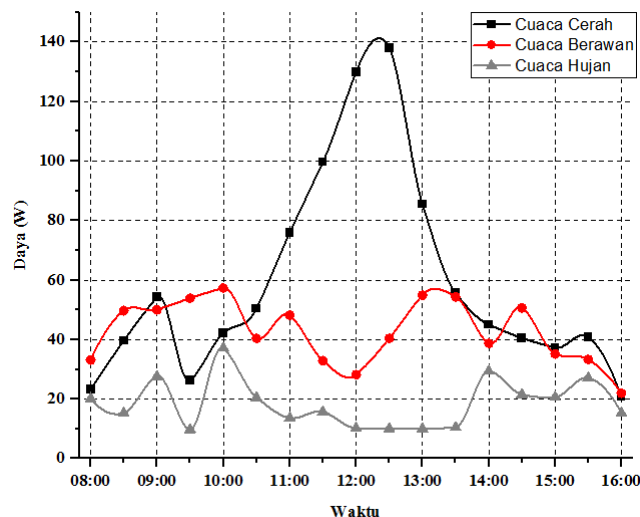
Grafik berwarna hitam merupakan cuaca cerah. Pada dasarnya peluang terbesar nilai radiasi matahari berada pada puncaknya itu terjadi pada siang hari saat posisi matahari berada tepat diatas modul surya sekitar pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00 jika cuaca dari pagi sampai sore tidak berubah-ubah. Pada pengujian

cuaca cerah hari kedua, dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00 cuaca mengalami perubahan. Pada pagi hari pukul 09.30 sampai dengan pukul 10.30 kondisi cuaca berawan. Tetapi saat di siang hari pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00 kondisi cuaca berubah menjadi cerah. Oleh karena itu data radiasi matahari paling tinggi ada pada pukul 12.30 dengan nilai radiasi matahari sebesar 814,71 W/m². Pada waktu pagi hari dan sore hari nilai radiasi matahari tidak sebesar siang hari dikarenakan radiasi matahari pada waktu tersebut belum berada pada puncaknya.

Grafik berwarna merah merupakan grafik cuaca berawan. Pada pengujian cuaca berawan hari kedua, dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00 cuaca mengalami perubahan. Kondisi cuaca berawan berlangsung dari pukul 10.30 sampai dengan pukul 13.00. Oleh karena itu data radiasi matahari paling tinggi ada pada pukul 10.00 dengan nilai radiasi matahari sebesar 357,14 W/m². Pada siang hari pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00 meskipun posisi matahari tepat berada di atas sensor pyranometer, kondisi cuaca pada waktu tersebut berawan dan matahari tertutup oleh awan sehingga mempengaruhi nilai radiasi matahari yang diterima sensor pyranometer. Oleh karena itu, Nilai puncak radiasi matahari ada pada pukul 10.00.

Grafik berwarna abu-abu merupakan grafik cuaca hujan. Pada pengujian cuaca hujan hari kedua, dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00 cuaca mengalami perubahan. Kondisi cuaca hujan berlangsung dari pukul 10.30 sampai dengan pukul 13.30. Oleh karena itu, nilai data radiasi matahari paling tinggi ada pada pukul 10.00 dengan nilai radiasi matahari sebesar 223,21 W/m². Pada siang hari pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00 meskipun posisi matahari tepat berada di atas sensor pyranometer, kondisi cuaca pada waktu tersebut turun hujan dan matahari tertutup oleh awan gelap sehingga mempengaruhi nilai radiasi matahari yang diterima sensor pyranometer. Oleh karena itu, Nilai puncak radiasi matahari ada pada pukul 10.00.

Dari data radiasi matahari yang sudah didapat di tiga kondisi cuaca berbeda, selanjutnya Gambar 4.18 akan ditampilkan data daya keluaran modul surya hari ketiga.



Gambar 4.18 Daya Keluaran Hari Ketiga

Gambar 4.18 merupakan data daya keluaran yang dihasilkan modul surya. Pada pengujian hari ketiga. Pengujian dilakukan dengan tiga kondisi cuaca berbeda diantaranya cuaca cerah, cuaca berawan dan cuaca hujan. Pengujian dilakukan di hari yang berbeda, untuk rincian data daya keluaran dapat dilihat di (lampiran A-4 dan A-5).

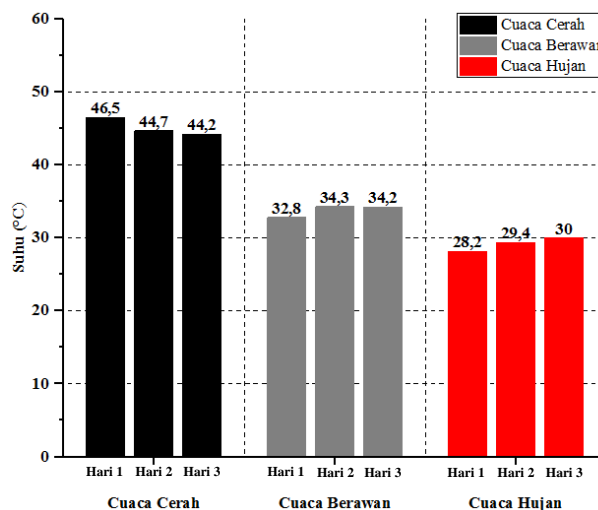
Grafik berwarna hitam merupakan grafik cuaca cerah. Dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18, saat kondisi cuaca cerah nilai daya keluaran modul surya selalu berbanding lurus dengan nilai radiasi matahari. Daya keluaran modul surya paling tinggi ada pada pukul 12.30 dengan nilai daya keluaran sebesar 137,96 W. Meskipun pada pagi hari sempat terjadi cuaca berawan pada pukul 09.30 sampai dengan pukul 10.30, modul surya tetap mampu menghasilkan daya puncaknya pukul 12.00 sama dengan nilai puncak radiasi matahari yang ada pada pukul 12.00 dikarenakan pada pukul 11.00 sampai dengan 13.00 kondisi cuaca cerah..

Grafik berwarna merah merupakan grafik cuaca berawan. Dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17, saat kondisi cuaca berawan nilai daya keluaran modul surya selalu berbanding lurus dengan nilai radiasi matahari. Dikarenakan cuaca berawan berlangsung dari pukul 10.30 sampai dengan pukul 13.00, nilai daya keluaran modul surya paling tinggi ada pada pukul 10.00 dengan nilai daya keluaran sebesar 57,30 W. Modul surya mampu menghasilkan daya puncaknya pukul 10.00 sama dengan nilai puncak radiasi matahari yang ada pada pukul 10.00.

Grafik berwarna abu-abu merupakan grafik cuaca hujan. Dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17, saat kondisi cuaca hujan nilai daya keluaran modul surya selalu berbading lurus dengan nilai radiasi matahari. Dikarenakan cuaca hujan berlangsung dari pukul 10.30 sampai dengan pukul 13.30, nilai daya keluaran modul surya paling tinggi ada pada pukul 10.00 dengan nilai daya keluaran sebesar 37,11 W. Modul surya mampu menghasilkan daya puncaknya pukul 10.00 sama dengan nilai puncak radiasi matahari yang ada pada pukul 10.00.

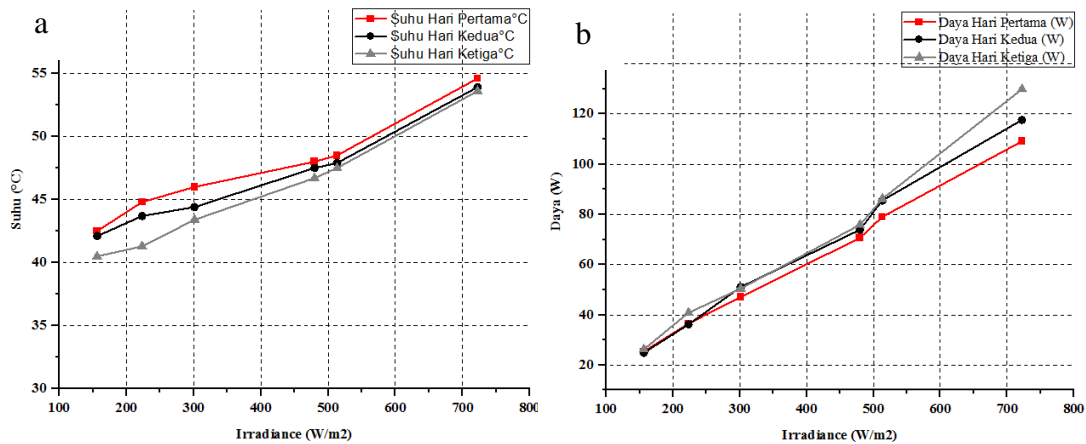
4.4. Pengujian Suhu Permukaan Modul Surya

Keluaran modul surya selain dipengaruhi radiasi matahari tetapi juga dipengaruhi oleh suhu. Rincian data suhu dapat dilihat pada (lampiran A-8). Berikut Gambar 4.19 suhu permukaan modul surya.



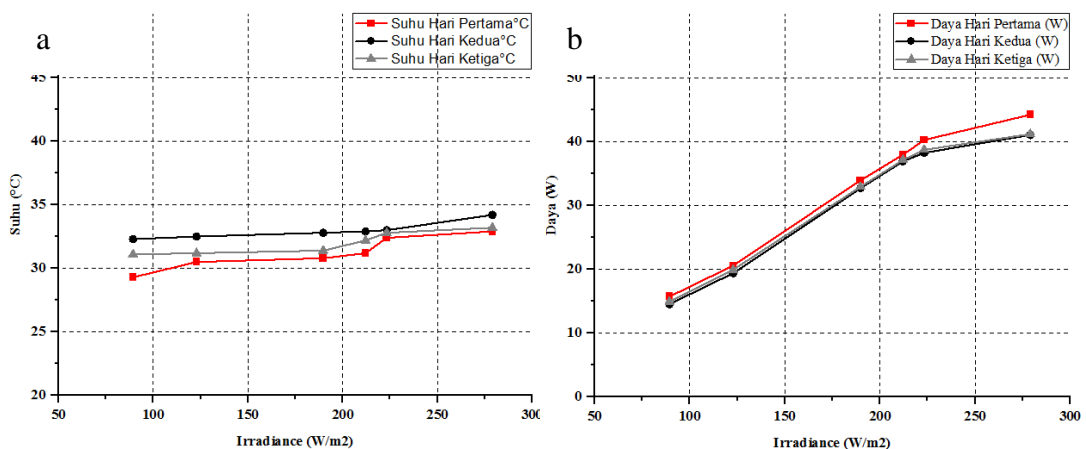
Gambar 4.19 Suhu Permukaan Modul Surya

Gambar 4.19 merupakan rata-rata suhu permukaan modul surya pada tiga kondisi cuaca berbeda. Suhu tertinggi pada kondisi cuaca cerah terjadi pada pengujian hari pertama sebesar 46,5 °C. Suhu tertinggi pada kondisi cuaca berawan terjadi pada pengujian hari kedua sebesar 34,3 °C. Suhu tertinggi pada kondisi cuaca hujan terjadi pada pengujian hari ketiga sebesar 30 °C. Dari pengujian tiga kondisi cuaca berbeda, saat kondisi cuaca cerah suhu permukaan modul surya mencapai rata-rata terbesar dibanding kondisi cuaca berawan dan cuaca hujan. Untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap keluaran modul surya maka dapat dilihat pada gambar 4.20 pengujian pengaruh suhu terhadap daya keluaran saat cuaca cerah.



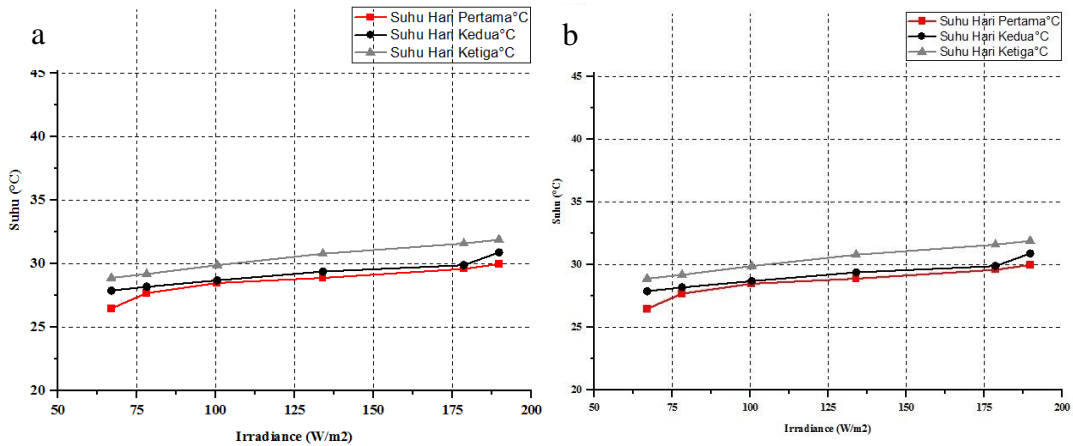
Gambar 4.20 (a) Suhu Permukaan Modul Surya Cuaca Cerah (b) Daya Keluaran Modul Surya Cuaca Cerah

Dapat dilihat pada Gambar 4.20, jika suhu pada modul surya semakin tinggi mengakibatkan daya keluaran berkurang. Pada hari pertama suhu maksimal yang diterima modul surya sebesar 54,6 °C dan daya yang dihasilkan paling rendah yaitu sebesar 109,12 W. Berikut ini Gambar 4.21 pengaruh suhu terhadap daya keluaran saat cuaca berawan.



Gambar 4.21 (a) Suhu Permukaan Modul Surya Cuaca Berawan (b) Daya Keluaran Modul Surya Cuaca Berawan

Dapat dilihat pada Gambar 4.21, jika suhu pada modul surya semakin tinggi mengakibatkan daya keluaran berkurang. Pada hari kedua suhu maksimal yang diterima modul surya sebesar 34,2 °C dan daya yang dihasilkan paling rendah yaitu sebesar 41,06 W. Berikut ini Gambar 4.22 pengaruh suhu terhadap daya keluaran saat cuaca hujan.

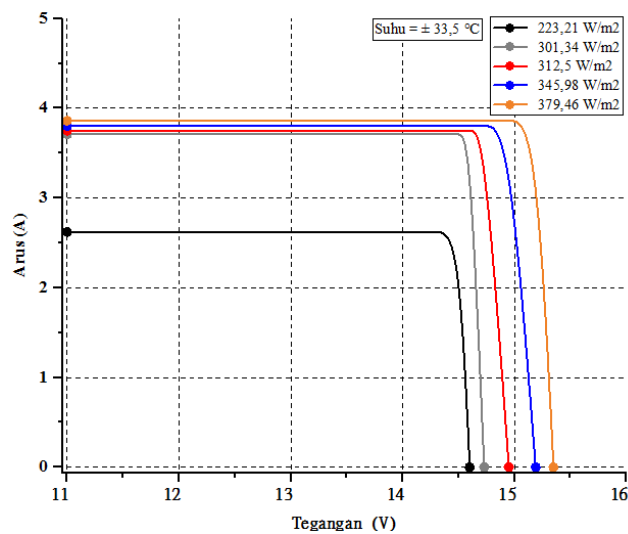


Gambar 4.22 (a) Suhu Permukaan Modul Surya Cuaca Hujan (b) Daya Keluaran Modul Surya Cuaca Hujan

Dapat dilihat pada Gambar 4.22, jika suhu pada modul surya semakin tinggi mengakibatkan daya keluaran berkurang. Pada hari ketiga suhu maksimal yang diterima modul surya sebesar 31,9 °C dan daya yang dihasilkan paling rendah yaitu sebesar 30,59 W.

4.5. Pengujian Karakteristik Arus dan Tegangan

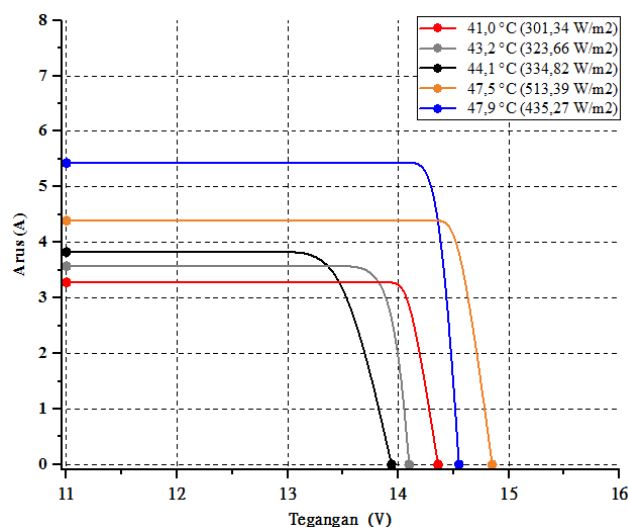
Pada pengujian karakteristik arus dan tegangan, radiasi matahari dan suhu permukaan modul surya memiliki pengaruh terhadap keluaran modul surya. Tinggi atau rendah nya tegangan dan arus keluaran dipengaruhi oleh radiasi matahari dan suhu permukaan modul surya. Berikut Gambar 4.23 kurva arus dan tegangan terhadap radiasi matahari.



Gambar 4.23 Karakteristik Arus dan Tegangan Terhadap Radiasi Matahari

Gambar 4.23 merupakan kurva karakteristik arus dan tegangan terhadap radiasi matahari. Pengujian ini terdapat lima nilai radiasi yang berbeda dan suhu permukaan modul surya kurang lebih $33,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada sestiap kenaikan nilai radiasi matahari, nilai arus dan tegangan keluaran modul surya juga ikut naik. Dari pegujian ini membuktikan keluaran modul surya selalu berbanding lurus dengan nilai radiasi matahari jika suhu permukaan modul surya tetap konstan.

Selain radiasi matahari, karakteristik arus dan tegangan juga dipengaruhi oleh suhu. Pada pengujian ini dilakukan dengan suhu yang berubah-ubah. Berikut Gambar 4.24 kurva arus dan tegangan terhadap suhu.

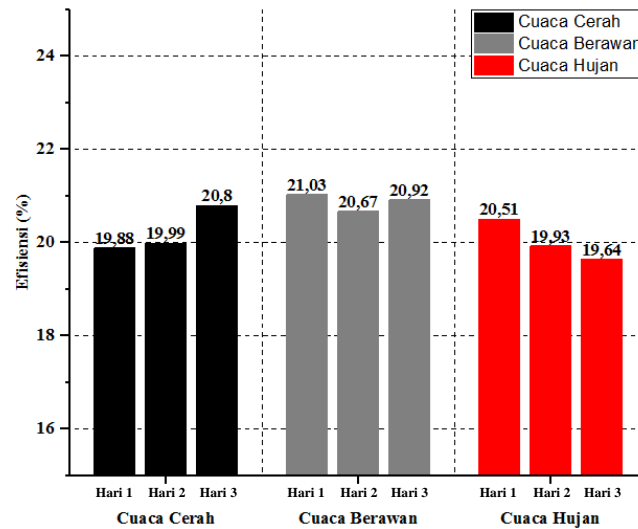


Gambar 4.24 Karakteristik Arus dan Tegangan Terhadap Suhu

Gambar 4.24 merupakan karakteristik arus dan tegangan terhadap suhu. Pengujian ini terdapat lima nilai radiasi yang berbeda dan suhu permukaan modul surya yang berbeda juga. Pada setiap kenaikan nilai suhu, nilai arus keluaran juga ikut naik. Tetapi tidak selalu terjadi kenaikan pada nilai tegangan saat kenaikan nilai suhu. Dari pengujian ini mebuktikan jika suhu permukaan modul surya terlalu panas maka bisa terjadi turunnya nilai tegangan.

4.6. Efisiensi Modul Surya

Efisiensi modul surya dapat dihitung menggunakan persamaan (2.5). Berikut Gambar 4.25 efisiensi modul surya dari sembilan hari pengujian.

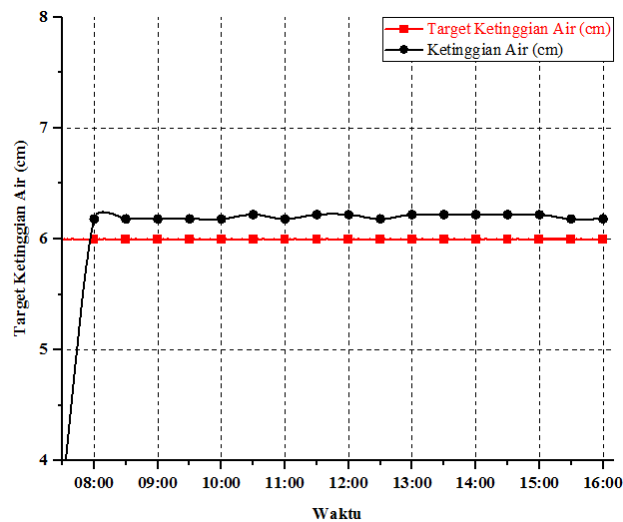


Gambar 4.25 Efisiensi Modul Surya

Gambar 4.25 merupakan grafik efisiensi modul surya. Terdapat perbedaan nilai efisiensi, perbedaan tersebut dipengaruhi oleh nilai radiasi matahari yang diterima modul surya dan suhu permukaan modul surya. Saat kondisi cuaca cerah, efisiensi modul surya sebesar 19,88 % (hari pertama), 19,99 % (hari kedua) dan 20,8 % (hari ketiga). Saat kondisi cuaca berawan, efisiensi modul surya sebesar 21,03 % (hari pertama), 20,67 % (hari kedua), 20,92 % (hari ketiga). Saat kondisi cuaca hujan, efisiensi modul surya sebesar, 20,51 % (hari pertama), 19,93 % (hari kedua), 19,64 % (hari ketiga). Efisiensi terbesar terjadi saat kondisi cuaca berawan. Efisiensi saat cuaca cerah lebih rendah dibandingkan saat cuaca berawan dikarenakan saat cuaca cerah suhu permukaan modul surya lebih tinggi yang menyebabkan turunnya tegangan hasil keluaran modul surya. Efisiensi saat cuaca hujan lebih rendah dibandingkan cuaca berawan dikarenakan saat cuaca hujan nilai radiasi matahari yang didapat paling rendah. Untuk rincian perhitungan efisiensi modul terdapat pada (lampiran C-5) dan untuk rincian data efisiensi terdapat pada (lampiran A-6 dan A-7).

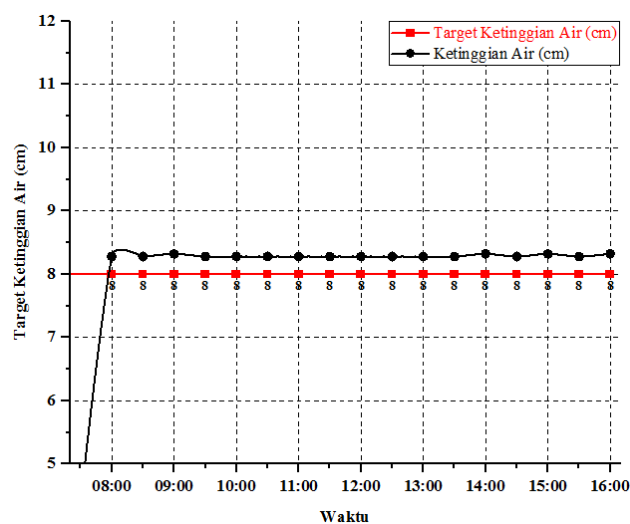
4.7. Pengujian Ketinggian Air

Ketinggian air pada proses pengisian air otomatis harus dijaga menggunakan sistem kendali PID. Untuk rincian data dapat dilihat pada (lampiran A-8). Berikut Gambar 4.26 data ketinggian air 6 cm.



Gambar 4.26 Ketinggian Air 6 cm

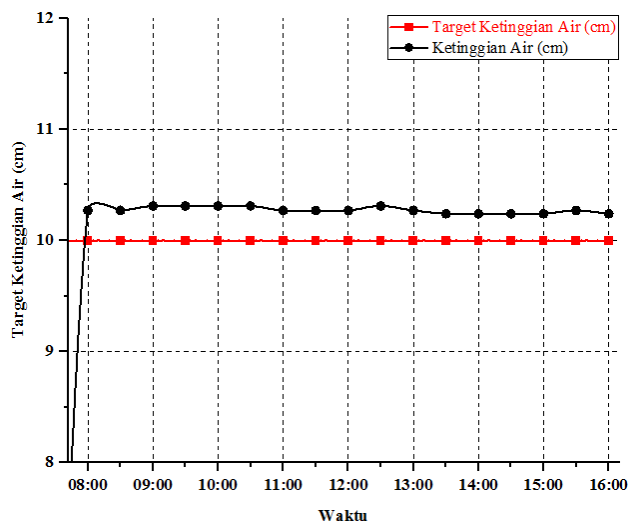
Gambar 4.26 merupakan data ketinggian air 6 cm. Pada pengujian ini nilai *set point* yang ditentukan yaitu 6 cm. Jadi ketinggian air pada pengujian ini akan dijaga supaya ketinggian air tidak jauh dari 6 cm. Dari data ketinggian air yang diperoleh, terdapat perbedaan antara nilai *set point* dan nilai aktual. Nilai aktual ketinggian air berkisar 6,18 cm dan 6,22 cm selama pengujian. Pada pengujian ini terdapat nilai kesalahan sebesar 3,31 %. Pengujian selanjutnya menjaga ketinggian 8 cm. Berikut Gambar 4.27 data ketinggian air 8 cm.



Gambar 4.27 Ketinggian Air 8 cm

Gambar 4.27 merupakan data ketinggian air 8 cm. Pada pengujian ini nilai *set point* yang ditentukan yaitu 8 cm. Jadi ketinggian air pada pengujian ini akan dijaga supaya ketinggian air tidak jauh dari 8 cm. Dari data ketinggian air yang diperoleh,

terdapat perbedaan antara nilai *set point* dan nilai aktual. Nilai aktual ketinggian air berkisar 8,28 cm dan 8,32 cm selama pengujian. Pada pengujian ini terdapat nilai kesalahan sebesar 3,62 %. Dari hasil pengujian ini, nilai kesalahan yang didapat masih masuk dalam nilai toleransi. Pengujian selanjutnya menjaga ketinggian 10 cm. Berikut Gambar 4.28 data ketinggian air 10 cm.



Gambar 4.28 Ketinggian Air 10 cm

Gambar 4.28 merupakan data ketinggian air 10 cm. Pada pengujian ini nilai *set point* yang ditentukan yaitu 10 cm. Jadi ketinggian air pada pengujian ini akan dijaga supaya ketinggian air tidak jauh dari 10 cm. Dari data ketinggian air yang diperoleh, terdapat perbedaan antara nilai *set point* dan nilai aktual. Nilai aktual ketinggian air berkisar 10,27 cm dan 10,31 cm selama pengujian. Pada pengujian ini terdapat nilai kesalahan sebesar 2,73 %. Dari hasil pengujian ini, nilai kesalahan yang didapat masih masuk dalam nilai toleransi.

4.8. Analisis Hasil Pengujian Alat

Dari semua pengujian alat yang sudah dilakukan, sistem PLTS *off grid* bisa dimanfaatkan untuk sistem pengisian air otomatis. Dari hasil pengujian keluaran modul surya saat cuaca cerah, cuaca berawan dan cuaca hujan, modul surya mampu menjadi sumber listrik untuk sistem pengisian air otomatis. Saat cuaca cerah daya keluaran maksimal sebesar 137,96 W. Saat cuaca berawan daya keluaran maksimal sebesar 62,53 W. Saat cuaca hujan daya keluaran maksimal sebesar 50,98 W. Untuk

sistem pengisian air otomatis pada pengujian ini menggunakan sistem kendali PID untuk proses kendali nya. Pada pengujian ini nilai K_p sebesar 305, nilai K_i sebesar 0,0001 dan nilai K_d sebesar 170. Nilai K_p , K_i dan K_d akan dimasukkan kedalam *listing program* dan akan dihitung menggunakan persamaan (2.6). Tandon 1 dijadikan sebagai sumber air. Dan air dialirkan pompa menuju ke tandon 2 menggunakan pompa. Pada tandon 2 ketinggian air nya akan dijaga dengan tiga ketinggian berbeda diantaranya 6cm, 8cm dan 10cm. Saat proses pompa mengalirkan air dari tandon 1 ke tandon 2, aliran air diproses menggunakan sistem kendali PID yang dimana proses kendali PID yang digunakan termasuk sistem kendali *close loop*. Jadi sistem kendali ini memanfaatkan nilai keluaran untuk kembali diproses ke nilai masukan. Nilai selisih antara *set point* dengan nilai keluaran aktual akan dimanfaatkan kedalam proses sistem kendali sehingga menghasilkan pompa yang mampu mengurangi debit aliran air saat nilai keluaran sudah mendekati *set point*. Saat ketinggian air pada tandon 2 sudah mencapai *set point*, valve akan aktif untuk mengalirkan air dari tandon 2 ke tandon 1. Saat ketinggian air pada tandon 2 berkurang dari *set point* maka pompa akan kembali mengalirkan air ke tandon 2. Proses pengisian dilakukan selama 8 jam pengujian dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00. Hasil pengujian ketinggian air 6 cm mendapat nilai kesalahan 3,31%. Hasil pengujian ketinggian air 8 cm mendapat nilai kesalahan 3,62%. Hasil pengujian ketinggian air 10 cm mendapat nilai kesalahan 2,73%. Dari semua hasil pengujian yang didapat, sistem PID dapat digunakan sebagai sistem kendali pengisian air otomatis karena nilai kesalahan yang didapat masih masuk dalam nilai toleransi.