

BAB IV

ANALISIS DAN HASIL

4.1. *Solar Tracking Dual Axis System*

Kata *solar tracking dual axis system* merupakan panel surya yang dirancang dengan menggunakan penggerak pada kedua *axis* agar dapat mengikuti arah pergerakan radiasi matahari. Jadi *solar tracking dual axis* merupakan sistem panel surya dua *axis* yang dapat mengikuti arah pergerakan radiasi matahari secara otomatis. Tanpa dibutuhkan tenaga manusia untuk pergerakan pada alat tersebut. Dapat terlihat pada Gambar 4.1 merupakan panel surya *half-cut monocrystalline*.



Gambar 4.1 Panel Surya *Half-cut Monocrystalline* 85 W

Pada penelitian ini panel surya merupakan komponen utama penelitian yang dijadikan sebagai objek yang diteliti untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan. Panel surya ini merupakan pengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada Gambar 4.1 dapat terlihat panel surya yang digunakan dalam penelitian berjenis fleksibel *half-cut monocrystalline* dengan kapasitas 85 W.

Sistem rangkaian yang digunakan pada pengambilan data perbandingan panel surya *solar tracking dual axis* dengan panel surya statis bersifat *open circuit* (rangkaiannya terbuka). Pengambilan data panel surya statis atau diam dengan menggunakan sudut kemiringan sebesar 15° , yang merupakan sudut terbaik untuk penyerapan radiasi matahari. Lampiran E Gambar E.3 merupakan pengaplikasian panel surya statis pada lokasi pengambilan data.

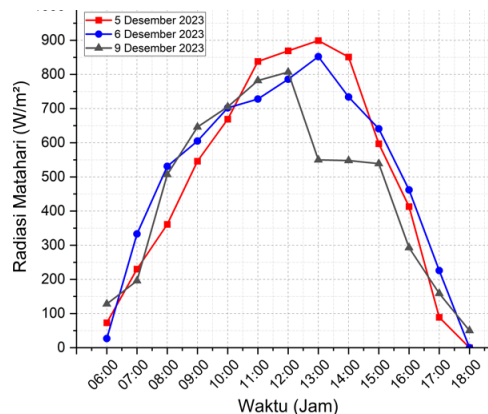
4.2. Hasil Data Penelitian

Pengambilan data penelitian dilakukan selama 9 hari pada jam 06:00 s.d. 18:00. Dapat terbagi menjadi 3 kondisi cuaca, yaitu cerah, berawan, dan hujan yang diambil selama 3 hari pada tiap kondisi cuacanya. Hal ini dikarenakan untuk mengetahui kinerja pada *solar tracking dual axis* pada berbagai kondisi cuaca.

Pada pengambilan data panel surya statis menggunakan sudut kemiringan sebesar 15° . Berikut hasil penelitian panel surya *solar tracking dual axis* yang dibandingkan dengan panel surya statis pada tiap kondisi cuacanya. Penempatan pengambilan data dua panel surya dapat terlihat pada Gambar D.1

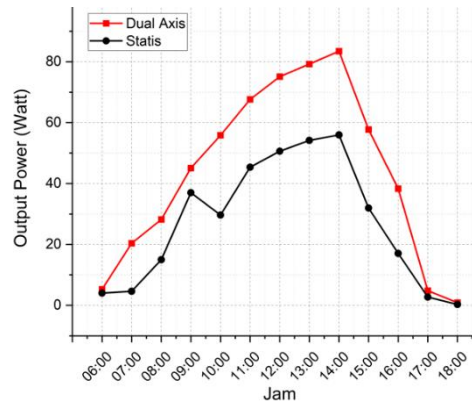
4.2.1. Kondisi Cuaca Cerah

Pengujian pada kondisi cuaca cerah dilakukan untuk mengetahui bagaimana performa panel surya pada saat menggunakan *solar tracking dual axis*. Tentu pada saat kondisi cuaca cerah performa pada panel surya semakin baik apabila panel surya itu sendiri tidak terlalu panas. Pengambilan data radiasi matahari dengan menggunakan alat ukur *pyranometer*. Berikut merupakan hasil pengujian yang dilakukan selama tiga hari pada kondisi cuaca cerah. Pada Gambar 4.2 merupakan grafik intensitas radiasi matahari kondisi cuaca cerah selama tiga hari.



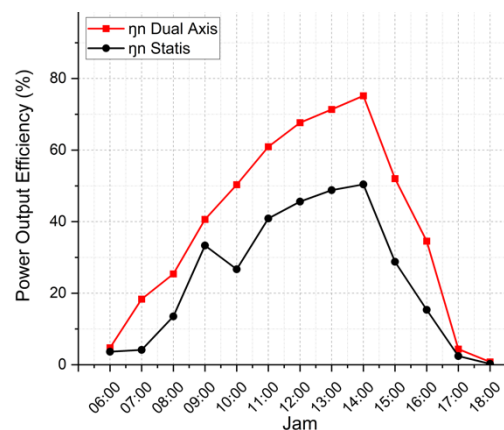
Gambar 4.2 Radiasi Matahari Kondisi Cuaca Cerah

Pengambilan data kondisi cuaca cerah hari pertama dilakukan pada tanggal 5 Desember 2023. Pada Gambar 4.2 (garis merah) didapati radiasi matahari yang lebih tinggi sebesar 838 W/m^2 s.d. 899 W/m^2 pada jam 11:00 s.d. 14:00 apabila dibandingkan dengan hari lainnya, dikarenakan keadaan langit saat jam tersebut cukup bersih dari awan. Hasil data *realtime* yang didapatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perbandingan Daya Hari Pertama 5 Desember 2023

Daya *realtime* yang didapatkan dari hasil perhitungan data tegangan dan arus (Persamaan (2.1)). Pada Gambar 4.3 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* hari pertama yang diperoleh antara *solar tracking dual axis* (garis merah) dengan panel surya statis (garis hitam). Terdapat puncak daya *realtime* pada jam 14:00 *solar tracking dual axis* didapati hasil daya *realtime* yang lebih tinggi sebesar 83,4 W, sedangkan untuk panel surya statis didapati hasil daya *realtime* yang lebih rendah sebesar 56 W. Dari hasil perhitungan daya *realtime* ini dapat digunakan untuk menghitung besarnya efisiensi daya normalisasi. Grafik efisiensi daya hari pertama kondisi cuaca cerah dapat terlihat pada Gambar 4.4 berikut.

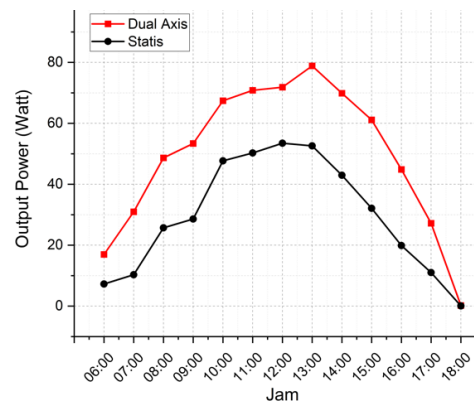


Gambar 4.4 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Pertama 5 Desember 2023

Performa pada panel surya tidak dapat dibandingkan apabila hanya melihat dari daya *output* yang dihasilkan, hal ini dikarenakan hasil *output* daya yang dihasilkan pada setiap panel surya berbeda-beda. Jadi efisiensi *output* daya harus dinormalisasikan agar performa panel surya dapat dibandingkan (Persamaan (2.2)). Pada Gambar 4.4 merupakan grafik efisiensi daya normalisasi kondisi cuaca cerah,

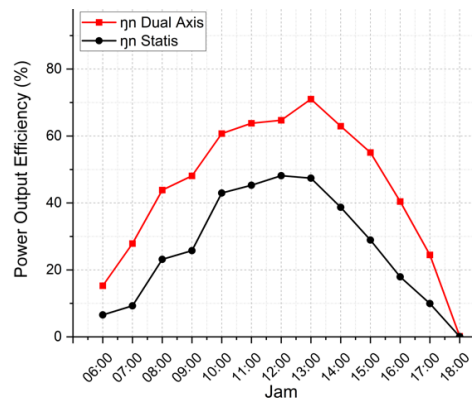
dan pada jam 14:00 efisiensi daya normalisasi tertinggi masih dihasilkan oleh panel surya dengan *solar tracking dual axis* sebesar 75,17% dan untuk panel surya statis didapati nilai lebih kecil sebesar 50,42%.

Pengambilan data kondisi cuaca cerah hari kedua dilakukan pada tanggal 6 Desember 2023. Dapat terlihat pada Gambar 4.2 (garis biru) meskipun pada hari kedua tidak didapati radiasi matahari yang tinggi seperti hari pertama, tetapi tetap memiliki titik puncak radiasi yang sama pada jam 13:00 sebesar 852 W/m². Pada hari kedua ini juga memiliki nilai rata-rata radiasi matahari yang lebih besar dibandingkan pada hari lainnya sebesar 509,77 W/m², jadi bisa dikatakan penyinaran radiasi matahari pada hari kedua cukup stabil pada tiap jamnya. Pada Gambar 4.5 merupakan grafik perbandingan daya hari kedua.



Gambar 4.5 Perbandingan Daya Hari Kedua 6 Desember 2023

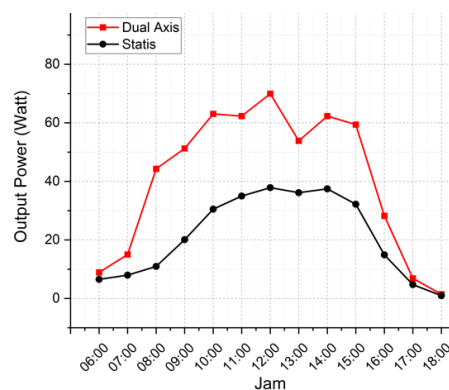
Pada Gambar 4.5 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* pada hari kedua. Berdasarkan grafik terdapat puncak daya *realtime*, untuk panel surya *solar tracking dual axis* pada jam 13:00 dengan hasil daya *realtime* sebesar 78,8 W. Sedangkan untuk panel surya statis mempunyai puncak daya *realtime* di waktu yang berbeda pada jam 12:00 dengan nilai daya 53,5 W. Hasil perhitungan daya pada hari kedua dapat dikatakan bagus dengan langit yang bersih. Adapun grafik efisiensi daya normalisasi pada hari kedua pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Kedua 6 Desember 2023

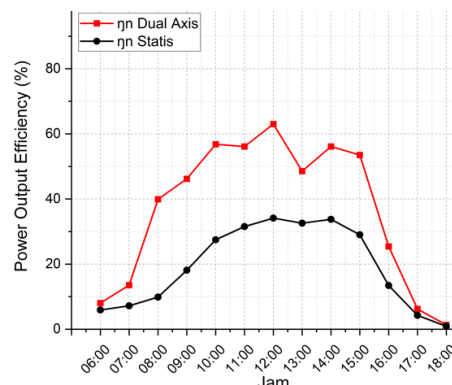
Efisiensi daya normalisasi didapatkan dari membandingkan daya *realtime* dengan daya maksimal pada panel surya. Pada Gambar 4.6 untuk puncak efisiensi daya normalisasi panel surya *solar tracking dual axis* memiliki pada jam 13:00 sebesar 71,03%. Berbeda dengan panel surya statis yang memiliki puncak efisiensi daya normalisasi di waktu yang berbeda pada jam 12:00 sebesar 48,16%.

Pengambilan data kondisi cuaca cerah hari ketiga dilakukan pada tanggal 9 Desember 2023. Dapat terlihat pada Gambar 4.2 (garis hitam) didapati nilai radiasi yang tinggi pada jam 12:00 sebesar 807 W/m² dan terjadi penurunan signifikan pada jam 3:00, yaitu turun menjadi 550 W/m². Tetapi memang untuk hari ketiga keadaan kondisi langit tidak biru bersih dan terdapat beberapa titik awan terlihat sehingga menjadikan nilai radiasi matahari yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan hari pertama dan hari kedua pada kondisi cuaca cerah, begitu juga dengan rata-rata radiasi matahari yang didapatkan hanya 454,62 W/m². Nilai radiasi matahari yang rendah ini sangat berpengaruh terhadap penyerapan radiasi matahari ke panel surya, sehingga dapat membuat hasil daya *realtime* pada Gambar 4.7 kurang optimal.



Gambar 4.7 Perbandingan Daya Hari Ketiga 9 Desember 2023

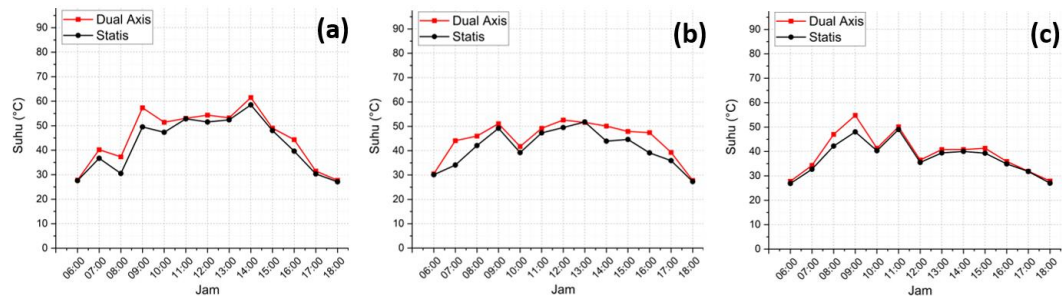
Pada Gambar 4.7 berdasarkan grafik terdapat kenaikan daya yang cukup signifikan pada *solar tracking dual axis* di jam 07:00 s.d. 08:00, yaitu dari 15 W naik menjadi 44,3 W. Berbeda dengan panel surya statis yang mengalami kenaikan daya sedikit. Adapun penurunan daya *realtime* pada interval waktu jam 12:00 s.d. 13:00, yaitu *solar tracking dual axis* dari 70 W menjadi 53,9 W, dan panel surya statis dari 37,9 W menjadi 36,1 W. Dikarenakan pada interval waktu tersebut keadaan matahari sedang tertutupi awan. Pada Gambar 4.8 terlihat efisiensi daya normalisasi pada hari ketiga yang dipengaruhi dari hasil daya yang dihasilkan.



Gambar 4.8 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Ketiga 9 Desember 2023

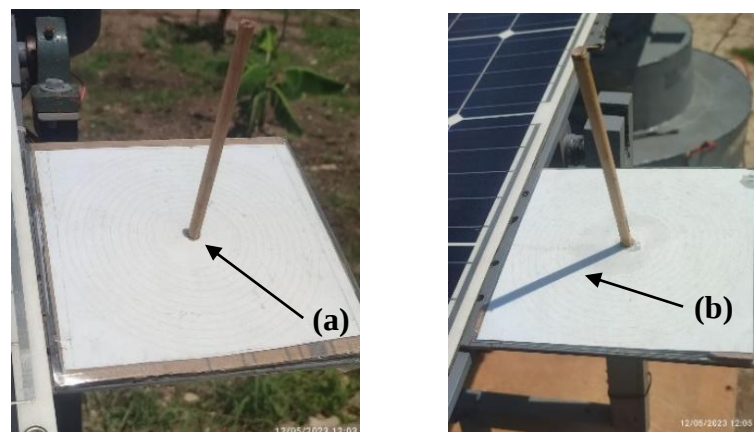
Pada Gambar 4.8 merupakan grafik efisiensi daya normalisasi hari ketiga kondisi cuaca cerah. Terdapat kenaikan efisiensi daya normalisasi pada *solar tracking dual axis* di jam 07:00 s.d. 08:00, yaitu dari 13,53% naik menjadi 39,93%. Berbeda dengan panel surya statis yang tidak terlalu mengalami kenaikan signifikan. Tetapi terdapat penurunan efisiensi daya normalisasi pada *solar tracking dual axis* diinterval waktu jam 12:00 s.d. 13:00 dari 63% menjadi 48,3%, dan panel surya statis terjadi penurunan dari 34,12% menjadi 32,56%. Dikarenakan hari ketiga keadaan langit tidak biru bersih, sehingga efisiensi daya normalisasi rendah.

Dilihat pada hari pertama, kedua, dan ketiga hasil perbandingan daya dan efisiensi daya normalisasi pada *solar tracking dual axis* dan statis yang berbeda pada tiap harinya. Adapun faktor lain yang mempengaruhi hasil dari daya dan efisiensi tersebut, yaitu suhu, dan untuk *solar tracking dual axis* terdapat faktor *shading bar* yang berfungsi sebagai acuan terhadap arah pergerakan matahari. grafik pada suhu seperti yang terdapat pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9 Suhu Permukaan Panel Surya Cuaca Cerah; (a) Hari Pertama 5 Desember 2023, (b) Hari Kedua 6 Desember 2023, (c) Hari Ketiga 9 Desember 2023

Pada Gambar 4.9 dapat terlihat grafik suhu panel surya *solar tracking dual axis* untuk ketiga hari lebih panas dibandingkan panel surya statis, hal ini dikarenakan panel surya *solar tracking dual axis* selalu menghadap arah matahari. Suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi hasil pada panel surya. Salah satu contoh pada panel surya *solar tracking dual axis* hari pertama 5 Desember 2023 jam 09:00 dengan radiasi matahari 546 W/m^2 dan suhu $57,3^\circ\text{C}$ didapatkan hasil daya *realtime* 45,1 W, tetapi apabila dibandingkan dengan hari ketiga 9 Desember 2023 jam 14:00 dengan radiasi matahari 548 W/m^2 dan suhu permukaan panel yang lebih rendah $40,8^\circ\text{C}$ didapatkan daya *realtime* yang lebih tinggi sebesar 56,13 W. Dikarenakan suhu permukaan panel surya yang tinggi membuat perbedaan selisih daya 11 W. Selain melihat pada suhu yang dihasilkan terdapat juga faktor lain, yaitu *shading bar* yang dapat terlihat pada Gambar 4.10.

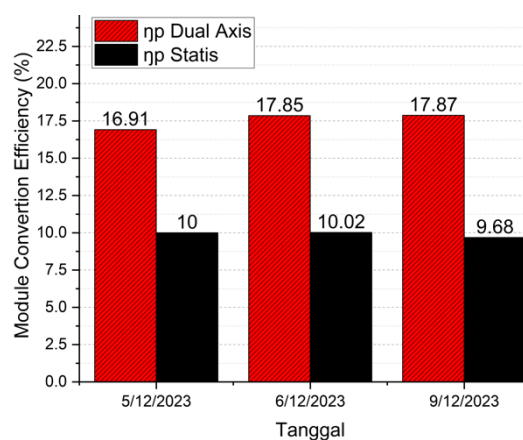


Gambar 4.10 Contoh *Shading bar* Kondisi Cerah; (a) *Solar tracking dual axis*, (b) Statis

Shading bar berfungsi sebagai acuan agar panel surya dapat menghadap searah dengan arah datangnya matahari. Pada Gambar 4.10 merupakan keadaan *shading bar* pada hari pertama tanggal 5 Desember 2023 jam 12:00. Pada setiap

jamnya matahari mempunyai perbedaan sudut sampai 15° . Terlihat pada kondisi cuaca cerah dan matahari tidak tertutupi awan didapati *shading bar* pada *solar tracking dual axis* memiliki sedikit penyimpangan sekitar 0 s.d. $1,5^\circ$ dari arah datangnya matahari, jadi disimpulkan pergerakan *solar tracking dual axis* ini bagus.

Dari faktor suhu dan *shading bar* saja sudah sangat mempengaruhi besarnya efisiensi yang dihasilkan panel surya. Efisiensi konversi pada panel surya adalah kemampuan panel surya untuk mengubah radiasi matahari menjadi daya listrik. Perbandingan efisiensi konversi antara panel surya *solar tracking dual axis* dan statis pada hari pertama, kedua dan ketiga dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut.



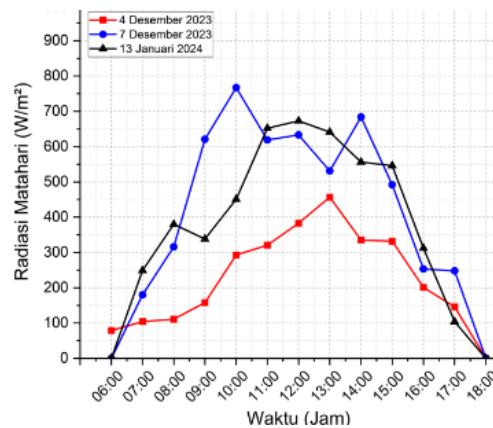
Gambar 4.11 Efisiensi Konversi Keadaan Cuaca Cerah

Pada Gambar 4.11 merupakan hasil pengujian efisiensi konversi ketiga hari dalam kondisi cuaca cerah. Hasil efisiensi konversi tertinggi *solar tracking dual axis* terdapat pada hari ketiga 9 Desember 2023 dengan 17,87%, hal ini dikarenakan intensitas radiasi matahari tidak terlalu tinggi tetapi dapat menghasilkan daya yang cukup tinggi. Sedangkan untuk panel surya statis terdapat pada hari kedua dengan 10,02%. Dapat disimpulkan pada saat kondisi cuaca cerah dengan waktu pengambilan data selama tiga hari, *solar tracking dual axis* lebih unggul dibandingkan panel surya statis.

4.2.2. Kondisi Cuaca Berawan

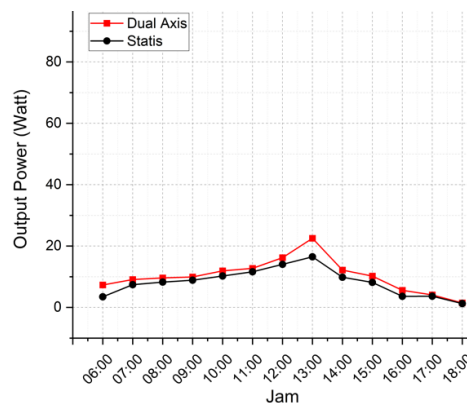
Pengujian pada kondisi berawan dilakukan untuk mengetahui hasil *solar tracking dual axis* disaat radiasi matahari tertutup awan. Tentu kondisi cuaca berawan mempengaruhi hasil performa pada panel surya, dan juga pada pergerakan *solar tracking dual axis* tersebut. Berikut merupakan hasil pengujian yang

dilakukan selama tiga hari pada kondisi cuaca berawan. Dapat terlihat pada Gambar 4.12 merupakan grafik radiasi matahari pada kondisi cuaca berawan.



Gambar 4.12 Radiasi Matahari Kondisi Cuaca Berawan

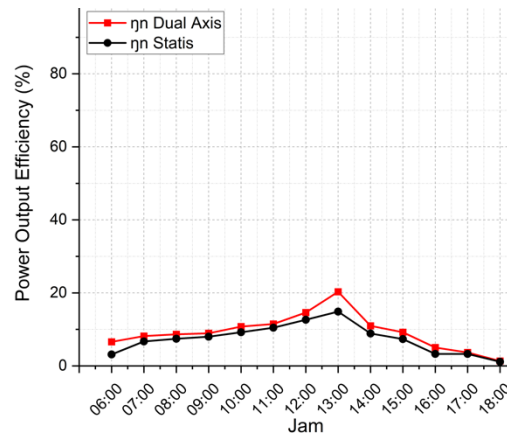
Pengambilan data kondisi cuaca berawan hari pertama pada tanggal 4 Desember 2023. Dapat terlihat pada Gambar 4.12 (garis merah) didapati puncak radiasi matahari pada hari pertama jam 13:00 sebesar 457 W/m², tetapi radiasi matahari pada hari pertama lebih rendah dibandingkan hari kedua dan ketiga. Dapat terlihat dari rata-rata radiasi matahari pada hari pertama sebesar 224,6 W/m², hal ini dikarenakan keadaan langit tertutupi banyak awan sehingga penyinaran radiasi matahari kurang optimal. Hasil daya yang didapatkan terlihat pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Perbandingan Daya Hari Pertama 4 Desember 2023

Pada Gambar 4.13 merupakan grafik hari pertama perbandingan daya *realtime* antara *solar tracking dual axis* (garis merah) dengan panel surya statis (garis hitam). Terdapat daya *realtime* puncak pada jam 13:00 dengan hasil daya *solar tracking dual axis* lebih tinggi sebesar 22,53 W, sedangkan panel surya statis didapati hasil daya yang lebih rendah sebesar 16,49 W. Hasil daya yang didapatkan

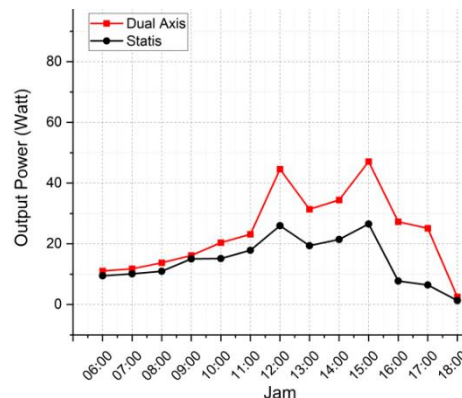
pada kondisi berawan tidak terlalu beda jauh antara keduanya, dan hasil daya ini sangat mempengaruhi nilai efisiensi daya normalisasi pada Gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.14 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Pertama 4 Desember 2023

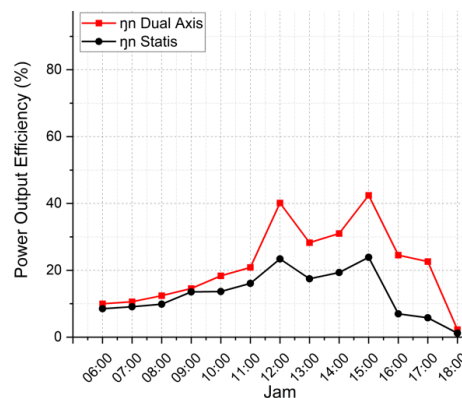
Performa pada panel surya tidak dapat dibandingkan apabila melihat dari daya *output* yang dihasilkan, hal ini dikarenakan hasil *output* daya yang dihasilkan pada setiap panel surya berbeda-beda. Jadi efisiensi *output* daya harus dinormalisasikan agar performa panel surya dapat dibandingkan (Persamaan (2.2)). Pada Gambar 4.14 terdapat puncak efisiensi normalisasi pada jam 13:00, untuk panel surya *solar tracking dual axis* didapati efisiensi yang lebih tinggi sebesar 20,29%, sedangkan untuk panel surya statis memiliki efisiensi daya yang lebih rendah sebesar 14,86%. Dikarenakan rendahnya radiasi matahari pada hari pertama kondisi berawan, membuat hasil daya dan efisiensi daya normalisasi yang didapatkan menjadi sangat rendah atau dapat dibilang tidak optimal meskipun kondisi berawan.

Pengambilan data kondisi cuaca berawan hari kedua dilakukan tanggal 7 Desember 2023. Dapat terlihat pada Gambar 4.12 (garis biru) untuk puncak radiasi matahari pada hari kedua jam 10:00 dengan nilai 767 W/m², dan rata-rata radiasi matahari sebesar 411 W/m². Didapati nilai puncak radiasi matahari dan rata-rata radiasi matahari yang lebih tinggi, dibandingkan dengan hari pertama dan ketiga. Dapat terlihat untuk grafik hasil daya yang cukup rendah pada hari kedua ini pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15 Perbandingan Daya Hari Kedua 7 Desember 2023

Pada Gambar 4.15 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* pada hari kedua. Berdasarkan grafik terdapat puncak daya *realtime* jam 15:00 dengan radiasi matahari pada saat itu 492 W/m^2 . Pada puncak daya *realtime* pada panel surya *solar tracking dual axis* lebih tinggi sebesar 47,1 W, sedangkan puncak daya *realtime* panel surya statis lebih rendah di 26,5 W. Hasil perhitungan daya *realtime* pada hari kedua ini dapat dikatakan bagus karena mempunyai nilai radiasi matahari yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan hari pertama dan ketiga, meskipun pengambilan data kondisi cuaca berawan. Adapun dari hasil daya yang telah didapatkan dapat diketahui untuk hasil pada efisiensi daya normalisasi, seperti yang dapat terlihat pada grafik gambar 4.16 berikut.

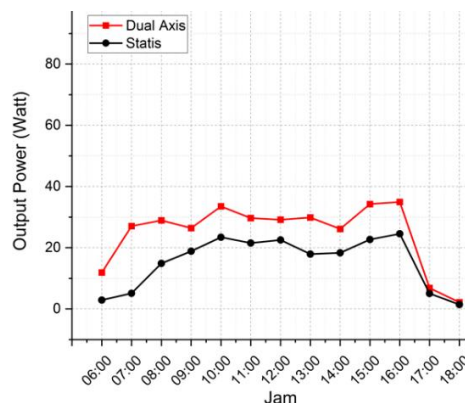


Gambar 4.16 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Kedua 7 Desember 2023

Efisiensi daya normalisasi didapatkan dari membandingkan daya *realtime* dengan daya maksimal pada panel surya. Pada Gambar 4.16 untuk puncak efisiensi daya normalisasi berada pada waktu yang sama jam 13:00. Pada puncak efisiensi daya normalisasi pada *solar tracking dual axis* lebih tinggi di 42,44%, sedangkan pada panel surya statis lebih rendah di 23,9%. Dikarenakan radiasi matahari yang

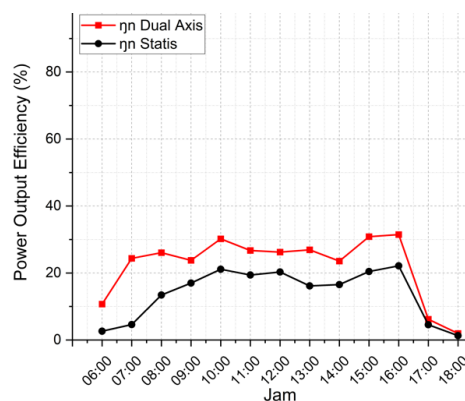
tinggi, membuat hasil daya, dan efisiensi daya normalisasi pada hari kedua kondisi cuaca berawan lebih tinggi apabila dibandingkan dengan hari pertama dan ketiga.

Pengambilan data kondisi cuaca berawan hari ketiga dilakukan pada tanggal 13 Januari 2024. Terlihat pada Gambar 4.12 (garis hitam) didapati puncak radiasi matahari jam 12:00 sebesar 673 W/m^2 , dan untuk rata-rata radiasi matahari yang didapatkan sebesar 377 W/m^2 . Hasil radiasi matahari pada hari ketiga lebih tinggi apabila dibandingkan dengan radiasi matahari hari pertama. Adapun grafik perbandingan daya hari ketiga seperti yang dapat terlihat pada Gambar 4.17 berikut.



Gambar 4.17 Perbandingan Daya Hari Ketiga 13 Januari 2024

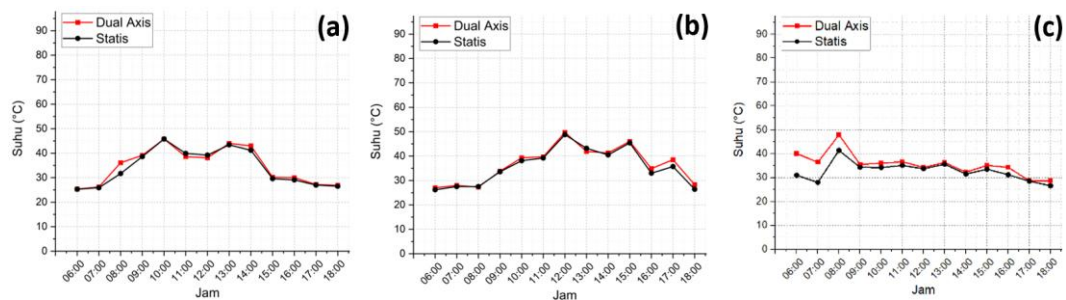
Pada Gambar 4.17 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* pada hari ketiga. Berdasarkan grafik terdapat kenaikan dan penurunan daya *realtime* yang tidak terlalu beda jauh pada interval jam 07:00 s.d. 16:00. Adapun penurunan daya *realtime* pada kedua panel surya saat interval jam 16:00 s.d. 17:00, yaitu untuk panel surya *solar tracking dual axis* dari puncak daya 34,9 W menjadi 6,9 W, serta untuk panel surya statis dari puncak daya sebesar 24,6 W turun menjadi 5 W. Hasil daya yang telah didapatkan dapat diketahui untuk hasil pada efisiensi daya normalisasi, seperti yang dapat terlihat pada grafik gambar 4.18 berikut.



Gambar 4.18 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Ketiga 13 Januari 2024

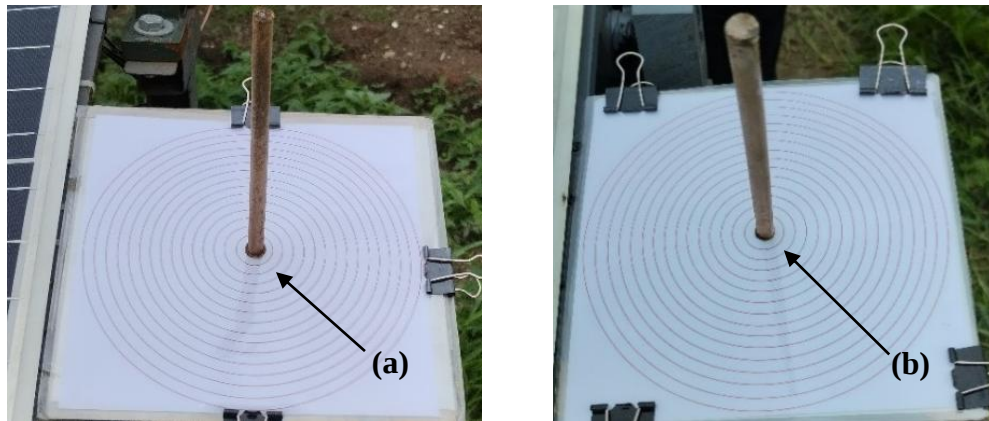
Pada Gambar 4.18 merupakan grafik efisiensi daya normalisasi hari ketiga cuaca berawan. Terdapat kenaikan dan penurunan yang stabil pada interval jam 07:00 s.d. 16:00. Tetapi terdapat penurunan efisiensi daya normalisasi pada kedua panel surya saat interval jam 16:00 s.d. 17:00, yaitu untuk panel surya *solar tracking dual axis* dari puncak efisiensi sebesar 31,47% turun menjadi 6,19%, serta untuk panel surya statis dari puncak efisiensi sebesar 22,13% turun menjadi 4,54%.

Pada kondisi berawan hari pertama, kedua, dan ketiga didapati hasil perbandingan daya *realtime*, dan efisiensi daya normalisasi yang berbeda pada tiap harinya. Faktor yang dapat mempengaruhi hasil daya dan efisiensi tersebut, yaitu suhu, dan *shading bar*. Kedua faktor tersebut dapat dijelaskan sebagai grafik pada suhu seperti yang terdapat pada Gambar 4.19 berikut.



Gambar 4.19 Suhu Permukaan Panel Surya Cuaca Berawan; (a) Hari Pertama 4 Desember 2023, (b) Hari Kedua 7 Desember 2023, (c) Hari Ketiga 13 Januari 2024

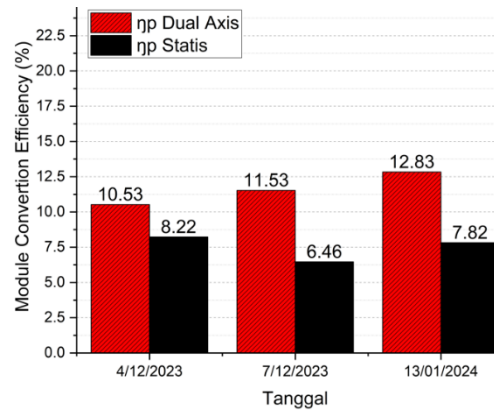
Pada Gambar 4.19 merupakan grafik suhu permukaan panel surya pada hari pertama, kedua dan ketiga kondisi cuaca berawan. Dapat terlihat pada grafik dikarenakan suhu permukaan panel surya yang rendah pada hari pertama, kedua, dan ketiga. Membuat hasil yang didapatkan tidak terlalu beda jauh antara panel surya *solar tracking dual axis* dengan panel surya statis. Hal ini dikarenakan pada saat kondisi cuaca hujan radiasi matahari tidak bisa menyinari bumi karna tertutupi oleh awan sehingga membuat penyerapan radiasi matahari pada panel surya berkurang, karna penyerapan pada panel surya berkurang maka suhu permukaan panel menjadi lebih rendah. Faktor lain yang mempengaruhi hasil pada panel surya, yaitu *shading bar* yang dapat terlihat pada Gambar 4.20 berikut.



Gambar 4.20 Contoh *Shading bar* Kondisi Berawan; (a) *Solar tracking dual axis*, (b) Statis

Selain faktor suhu terdapat faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil pada panel surya *solar tracking dual axis*, yaitu *shading bar*. Seperti yang dapat terlihat pada Gambar 4.20 merupakan salah satu contoh *shading bar* pada saat kondisi cuaca berawan, gambar tersebut merupakan keadaan *shading bar* pada hari ketiga tanggal 13 Januari 2024 jam 12:00. *Shading bar* tidak memiliki titik jatuh bayangan sebagai acuan pada saat kondisi cuaca berawan dan terlihat *shading bar* memiliki banyak penyimpangan pada *solar tracking dual axis* dan statis.

Pada saat kondisi cuaca berawan memang faktor suhu tidak terlalu mempengaruhi hasil efisiensi panel surya, hal ini dikarenakan suhu yang rendah pada permukaan panel surya. Tetapi saat kondisi cuaca berawan faktor yang mempengaruhi efisiensi panel surya *solar tracking dual axis* adalah *shading bar*, karena *shading bar* sebagai acuan terhadap arah datangnya radiasi matahari. Terlebih lagi saat keadaan berawan tidak memiliki banyak radiasi matahari yang dapat membuat hasil pembacaan pada *solar tracking dual axis* menjadi kurang optimal. Berikut hasil perbandingan efisiensi konversi kondisi cuaca berawan. Hasil daya yang didapatkan selama tiga hari pada kondisi cuaca berawan tersebut dapat digunakan untuk mencari hasil efisiensi konversi seperti pada Gambar 4.21 berikut.

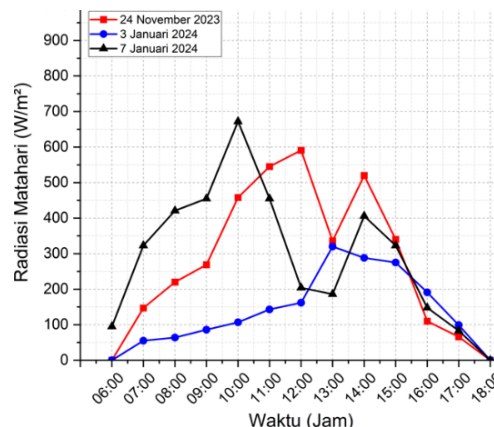


Gambar 4.21 Efisiensi Konversi Keadaan Cuaca Berawan

Gambar 4.21 merupakan hasil pengujian efisiensi konversi ketiga hari dalam kondisi cuaca berawan. Hasil efisiensi konversi tertinggi pada panel surya *solar tracking dual axis* terdapat pada hari ketiga 13 Januari 2024 dengan 12,83%, sedangkan untuk panel surya statis terdapat pada hari pertama 4 Desember 2023 dengan 8,22%. Meskipun mempunyai hasil efisiensi konversi tertinggi pada hari yang berbeda, tetapi tetap pada saat kondisi cuaca berawan panel surya *solar tracking dual axis* lebih unggul apabila dibandingkan dengan panel surya statis.

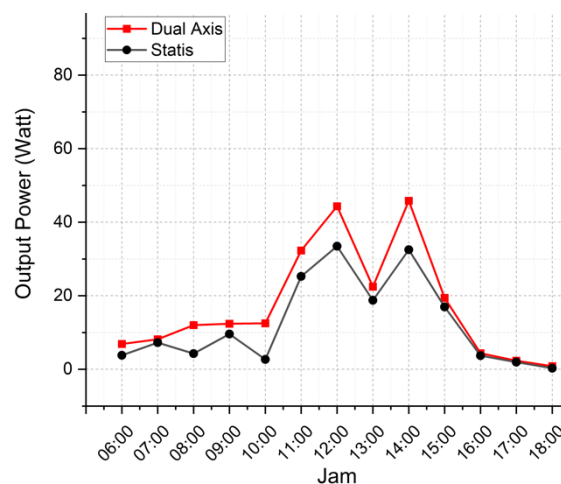
4.2.3. Kondisi Cuaca Hujan

Pengujian kondisi hujan dilakukan untuk mengetahui bagaimana pergerakan *solar tracking dual axis* disaat radiasi matahari sedikit dan tertutup banyaknya awan. Tentu pada kondisi cuaca hujan sangat mempengaruhi hasil performa panel surya, dan pergerakan *solar tracking dual axis*. Berikut hasil pengujian yang dapat dijabarkan. Dapat terlihat pada Gambar 4.22 merupakan grafik intensitas radiasi matahari selama tiga hari pada kondisi cuaca hujan.



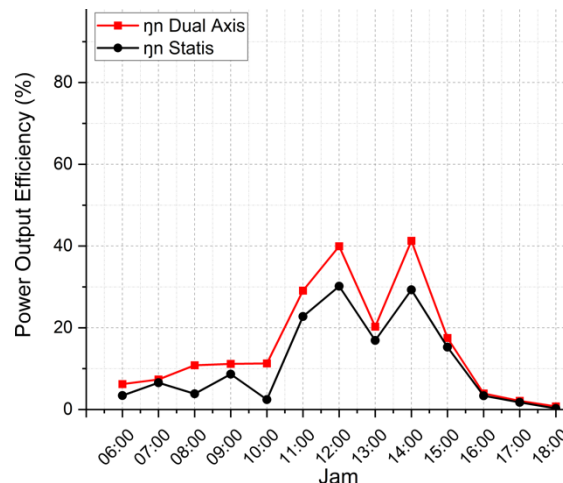
Gambar 4.22 Radiasi Matahari Kondisi Cuaca Hujan

Pengambilan data kondisi cuaca hujan hari pertama pada tanggal 24 November 2023. Dapat terlihat pada Gambar 4.22 (garis merah) didapati puncak radiasi matahari pada jam 12:00 sebesar 591 W/m², yang kemudian mengalami penurunan radiasi matahari pada jam 13:00 menjadi 336 W/m². Hasil radiasi matahari didapatkan pada kondisi cuaca hujan sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan pada panel surya *solar tracking dual axis* dan panel surya statis. Hasil perbandingan daya tersebut dapat terlihat pada Gambar 4.23 berikut.



Gambar 4.23 Perbandingan Daya Hari Pertama 24 November 2023

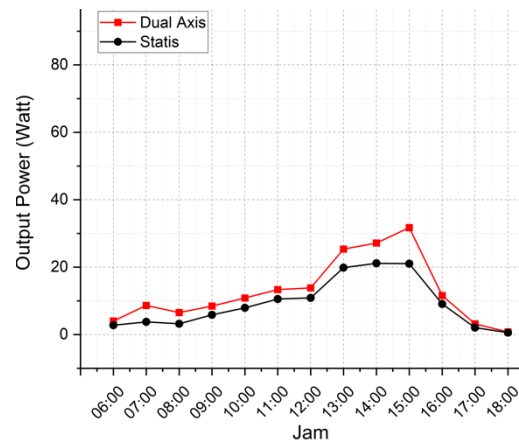
Daya *realtime* yang didapatkan dari hasil perhitungan data tegangan dan arus (Persamaan (2.1)). Pada Gambar 4.23 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* hari pertama antara panel surya *solar tracking dual axis* (garis merah) dengan panel surya statis (garis hitam). Terdapat beberapa persamaan antara kenaikan dan penurunan pada kedua panel tersebut. Puncak daya *realtime* pada jam 12:00 saat radiasi matahari sebesar 591 W/m² dengan panel surya *solar tracking dual axis* didapati hasil daya yang lebih tinggi sebesar 44,3 W, sedangkan panel surya statis didapati hasil daya yang lebih rendah sebesar 33,48 W. Hasil daya yang didapatkan pada hari pertama kondisi cuaca hujan cukup fluktuatif karena cuaca yang berubah-ubah. Hasil daya yang telah didapatkan dapat diketahui untuk hasil efisiensi daya normalisasi, seperti yang terlihat pada grafik gambar 4.24 berikut.



Gambar 4.24 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Pertama 24 November 2023

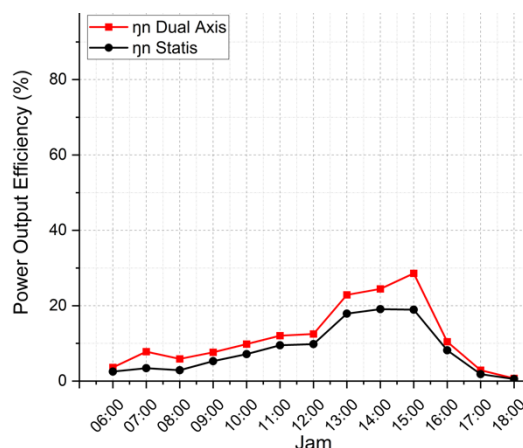
Performa panel surya tidak dapat dibandingkan apabila melihat dari daya *output* yang dihasilkan, hal ini dikarenakan hasil *output* daya yang dihasilkan pada setiap panel surya berbeda-beda. Performa panel surya dapat dibandingkan apabila efisiensi *output* daya sudah dinormalisasikan (Persamaan (2.2)). Pada Gambar 4.24 terdapat puncak efisiensi normalisasi jam 12:00 dengan efisiensi panel surya *solar tracking dual axis* yang lebih tinggi sebesar 39,9%, dan untuk efisiensi panel surya statis lebih rendah sebesar 29,94%. Efisiensi yang didapatkan terbilang cukup tinggi meskipun kondisi pada saat pengambilan data cuacanya hujan, hal ini dikarenakan terjadi cerah pada jam-jam tertentu seperti jam 12:00 dan jam 14:00.

Pengambilan data kondisi cuaca hujan hari kedua dilakukan tanggal 3 Januari 2024. Dapat terlihat pada Gambar 4.22 (garis biru) puncak radiasi matahari terdapat pada jam 13:00 sebesar 320 W/m², dan rata-rata radiasi matahari sebesar 137,7 W/m². Didapati nilai radiasi matahari terendah apabila dibandingkan hari lainnya, hal ini dikarenakan kondisi cuaca yang hujan dan sangat berawan. Radiasi matahari yang rendah ini sangat mempengaruhi performa pada panel surya. Hasil radiasi matahari didapatkan pada kondisi cuaca hujan sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan pada panel surya *solar tracking dual axis* dan panel surya statis. Hasil perbandingan daya tersebut dapat terlihat pada Gambar 4.25 berikut.



Gambar 4.25 Perbandingan Daya Hari Kedua 3 Januari 2024

Pada Gambar 4.25 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* pada hari kedua. Berdasarkan grafik terdapat puncak daya *realtime* yang berbeda, pada panel surya *solar tracking dual axis* jam 15:00 sebesar 31,7 W dengan radiasi matahari pada saat itu 275 W/m². Sedangkan pada panel surya statis jam 14:00 sebesar 21,2 W dengan radiasi matahari pada jam tersebut 288 W/m². Hasil perhitungan daya *realtime* pada hari kedua ini dapat dikatakan sangat rendah, hal ini dikarenakan nilai radiasi matahari yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan hari lainnya. Hasil daya yang telah didapatkan dapat diketahui untuk hasil pada efisiensi daya normalisasi, seperti yang dapat terlihat pada grafik gambar 4.26 berikut.

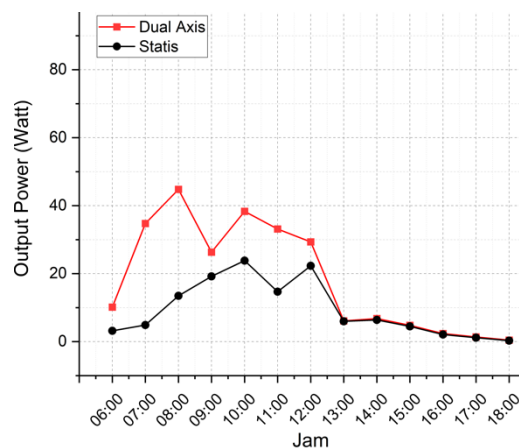


Gambar 4.26 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Kedua 3 Januari 2024

Pada Gambar 4.26 berdasarkan grafik terdapat puncak efisiensi daya normalisasi yang berbeda, pada panel surya *solar tracking dual axis* mempunyai efisiensi yang lebih tinggi jam 15:00 sebesar 28,59%, sedangkan pada panel surya statis mempunyai efisiensi yang lebih rendah jam 14:00 sebesar 19,07%.

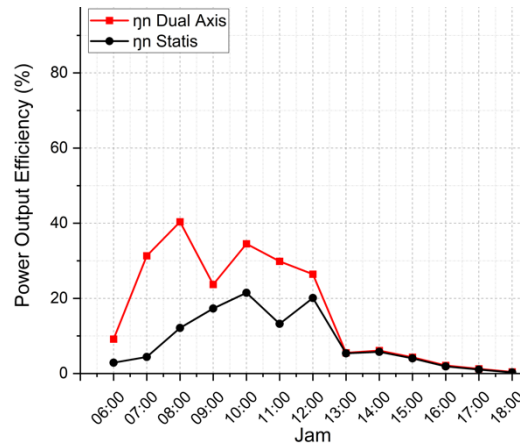
Dikarenakan radiasi matahari yang rendah membuat efisiensi daya normalisasi pada hari kedua kondisi cuaca hujan lebih rendah dari pada hari pertama, dan hari ketiga.

Pengambilan data kondisi cuaca hujan hari ketiga dilakukan pada tanggal 7 Januari 2024. Pada Gambar 4.22 (garis hitam) didapati puncak radiasi matahari jam 10:00 sebesar 672 W/m², dan rata-rata radiasi matahari sebesar 290 W/m². Hasil radiasi matahari pada hari ketiga cukup fluktuatif karena terjadi penurunan jam 11:00 s.d. 13:00, lalu mengalami kenaikan lagi pada jam 14:00. Didapatkannya intensitas radiasi matahari tersebut akan sangat mempengaruhi pada daya yang dihasilkan panel surya, dapat terlihat pada Gambar 2.27 berikut.



Gambar 4.27 Perbandingan Daya Hari Ketiga 7 Januari 2024

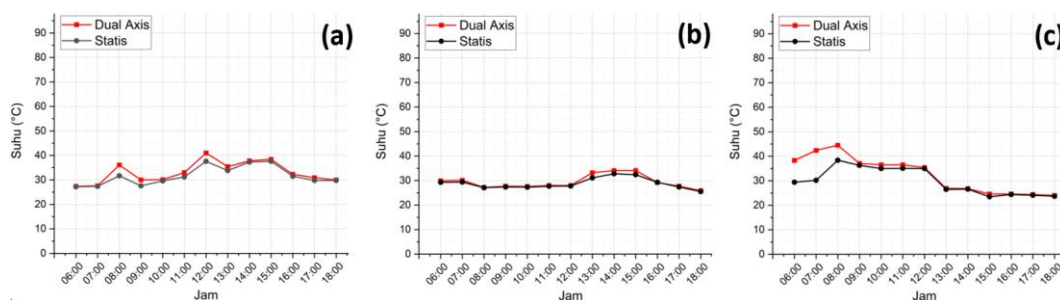
Pada Gambar 4.27 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* hari ketiga. Berdasarkan grafik terdapat penurunan daya *realtime* pada panel surya *solar tracking dual axis* diinterval jam 08:00 s.d. 09:00 dengan daya awal 44,8 W turun menjadi 26,3 W. Tetapi berbeda dengan panel surya statis yang mengalami kenaikan dari daya awal 13,5 W naik menjadi 19,2 W. Hal ini dapat terjadi karena saat kondisi cuaca hujan permukaan panel surya *solar tracking dual axis* tidak menghadap pada arah yang memiliki radiasi matahari yang tinggi, sehingga membuat hasil daya *realtime* yang didapatkan menjadi turun, dan bukan naik seperti panel surya statis. Adapun dari didapatkannya hasil daya panel surya, dapat diperoleh juga untuk hasil efisiensi daya normalisasi. Grafik hasil efisiensi normalisasi dapat terlihat pada Gambar 4.28 berikut.



Gambar 4.28 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Ketiga 7 Januari 2024

Pada Gambar 4.28 merupakan grafik efisiensi daya normalisasi hari ketiga cuaca hujan. Hasil grafik cukup fluktuatif pada interval jam 06:00 s.d. 12:00. Pada interval jam 13:00 s.d. 18:00 didapati hasil efisiensi daya normalisasi yang tidak terlalu berbeda jauh diantara panel surya *solar tracking dual axis* dan panel surya statis, hal ini dikarenakan pengambilan data terjadi hujan yang cukup lama sehingga hasil daya yang didapatkan tidak optimal antara kedua panel tersebut.

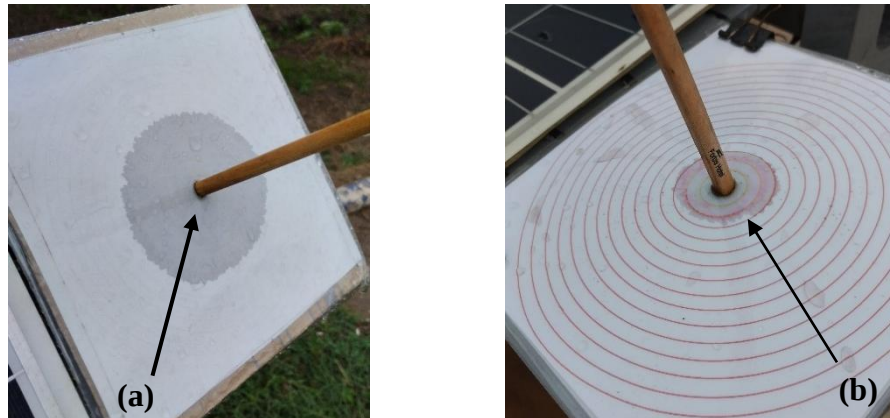
Pada kondisi hujan hari pertama, kedua, dan ketiga didapati hasil perbandingan daya *realtime*, dan efisiensi daya normalisasi yang berbeda pada tiap harinya. Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil daya dan efisiensi tersebut, yaitu suhu, dan *shading bar*. Kedua faktor yang dapat mempengaruhi hasil pada panel surya tersebut dapat dijelaskan sebagai grafik pada suhu seperti yang terdapat pada Gambar 4.29 berikut.



Gambar 4.29 Suhu Permukaan Panel Surya Cuaca Hujan; (a) Hari Pertama 24 November 2023, (b) Hari Kedua 3 Januari 2024, (c) Hari Ketiga 7 Januari 2024

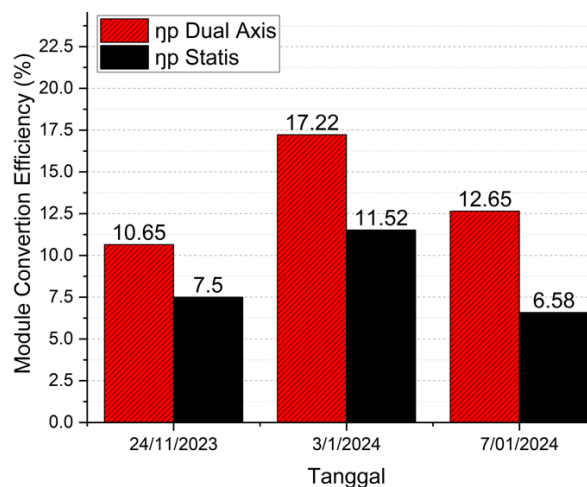
Pada Gambar 4.29 merupakan grafik suhu permukaan panel surya pada hari pertama, kedua dan ketiga kondisi cuaca hujan. Dapat terlihat pada grafik karena suhu permukaan panel surya yang rendah pada hari pertama, kedua, dan ketiga.

Membuat hasil yang dihasilkan tidak terlalu beda jauh antara panel surya *solar tracking dual axis* dengan panel surya statis. Hal ini dikarenakan saat kondisi cuaca hujan radiasi matahari tidak bisa menyinari bumi karna tertutupi oleh awan sehingga penyerapan radiasi matahari pada panel surya berkurang, karna penyerapan panel surya berkurang, maka suhu permukaan panel menjadi lebih rendah. Pada Gambar 2.30 dapat terlihat contoh *shading bar* kondisi cuaca hujan.



Gambar 4.30 Contoh *Shading bar* Kondisi Hujan; (a) *Solar tracking dual axis*, (b) Statis

Pada Gambar 4.30 merupakan satu contoh *shading bar* kondisi cuaca hujan pada hari ketiga tanggal 7 Januari 2024 jam 15:00. *Shading bar* tidak memiliki titik jatuh bayangan sebagai acuan saat kondisi cuaca hujan dan didapati *shading bar* memiliki banyak penyimpangan pada panel surya *solar tracking dual axis* dan panel surya statis. Dikarenakan besarnya penyimpangan pada saat kondisi cuaca hujan membuat hasil pada panel surya menjadi tidak optimal. Adapun grafik efisiensi konversi panel surya ketiga harinya pada Gambar 4.31 berikut ini.



Gambar 4.31 Efisiensi Konversi Keadaan Cuaca Hujan

Gambar 4.31 merupakan hasil pengujian efisiensi konversi ketiga hari dalam kondisi cuaca hujan. Puncak efisiensi konversi terdapat pada hari kedua 3 Januari 2024, untuk efisiensi konversi panel surya *solar tracking dual axis* sebesar 17,22%, sedangkan panel surya statis sebesar 11,52%. Hal ini dikarenakan meskipun mempunyai nilai radiasi matahari yang cukup tinggi.

Adapun puncak rata-rata efisiensi konversi pada tiap kondisi cuaca. Puncak efisiensi konversi terdapat pada hari yang berbeda di tiga kondisi cuacanya. Dapat terlihat pada Tabel 4.1 untuk detail hasil sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data Rata-Rata Efisiensi Konversi Tertinggi

Kondisi Cuaca	Hari, Tanggal	η_p Dual Axis (%)	Hari, Tanggal	η_p Statis (%)
Cerah	Hari ketiga, 9 Desember 2023	17,87	Hari kedua, 6 Desember 2023	10,02
Berawan	Hari ketiga, 13 Januari 2024	12,83	Hari pertama, 4 Desember 2023	10,53
Hujan	Hari kedua, 3 Januari 2024	17,22	Hari kedua, 3 Januari 2024	11,52

Dapat terlihat pada Tabel 4.1 untuk data hasil puncak rata-rata efisiensi konversi yang didapatkan. Pada ketiga kondisi cuaca dengan hari yang berbeda antara puncak efisiensi konversi panel surya *solar tracking dual axis*, dan panel surya statis. Tentu panel surya *solar tracking dual axis* lebih optimal apabila dibandingkan dengan panel surya statis. Meskipun pada saat pengambilan data kondisi cuaca yang kurang baik seperti kondisi cuaca berawan, dan hujan.