

LAPORAN TUGAS AKHIR 2

Perancangan Sistem Tracking Otomatis pada Panel Surya untuk Mengoptimalkan Daya Keluaran



Penyusun:

Ardhina Royan Saina (20524018)

Ryan Putra Prananda (20524209)

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2024

HALAMAN PENGESAHAN

Perancangan Sistem Tracking Otomatis pada Panel Surya untuk Mengoptimalkan Daya Keluaran

Penyusun:

Ardhina Royan Saina (20524018)

Ryan Putra Prananda (20524209)

Yogyakarta, 08 Juli 2024

Dosen Pembimbing 1



Dr. Wahyudi Budi Pramono, S.T., M.Eng.
985240104

Dosen Pembimbing 2



Medilla Kusriyanto, S.T., M.Eng.
015240101

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

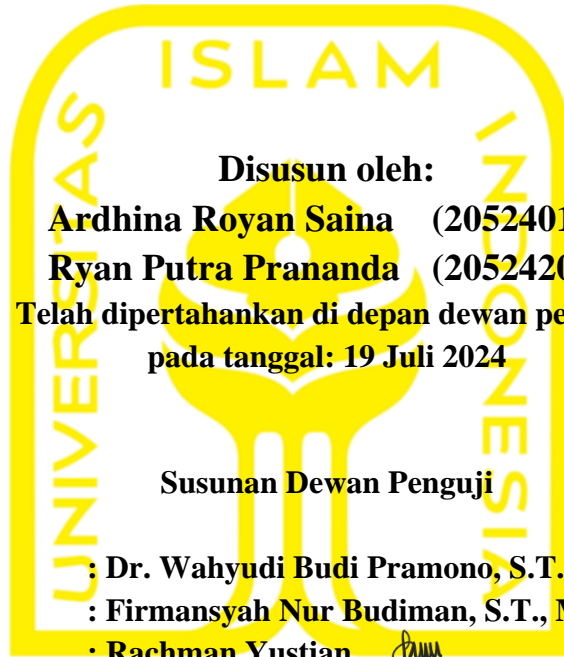
Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

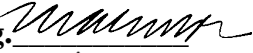
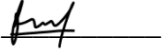

2024

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

JUDUL KARYA TUGAS AKHIR



Ketua Penguji
Anggota Penguji 1
Anggota Penguji 2

: Dr. Wahyudi Budi Pramono, S.T., M.Eng. 
: Firmansyah Nur Budiman, S.T., M.Sc., Ph.D. 
: Rachman Yustian 

Tugas akhir ini telah disahkan sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal: 05 Agustus 2024
Ketua Program Studi Teknik Elektro



Dwi Ana Ratna Wati, S.T., M.Eng.
035240102

PERNYATAAN

Dengan ini kami menyatakan bahwa:

1. Tugas Akhir ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi lainnya, dan sepanjang pengetahuan kami juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Tugas Akhir yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak, yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal ini, penggunaan informasi dan materi Tugas Akhir terkait paten maka akan didiskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut di atas.

Yogyakarta, 1 Agustus 2024



Ardhina Royan Saina

Ardhina Royan Saina (20524018)



Ryan Putra Prananda

Ryan Putra Prananda (20524209)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	2
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	3
PERNYATAAN.....	4
DAFTAR ISI.....	5
DAFTAR GAMBAR.....	7
DAFTAR TABEL	9
RINGKASAN	10
BAB 1. PENDAHULUAN	11
1.1 Latar belakang dan Identifikasi Masalah.....	11
1.2 Rumusan Masalah.....	14
1.3 Tujuan.....	14
1.4 Batasan Masalah.....	15
1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan	15
BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM	16
2.1 Studi Literatur dan Observasi	16
2.2 Dasar Teori	21
2.3 Analisis <i>Stakeholder</i>	27
2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem.....	27
BAB 3. USULAN SOLUSI.....	29
3.1 Usulan Solusi 1 : <i>Solar Tracking Automatic Single Axis</i> (STASA) Berbasis RTC ..	29
3.1.1 Desain Sistem 1.....	30
3.1.2. Rencana Anggaran Desain Sistem 1	34
3.1.3 Analisis Risiko Desain 1	34
3.1.4 Pengukuran Performa.....	35
3.2 Usulan Solusi 2 : <i>Solar Tracking Automatic Dual Axis</i> 1 (STADA1) Menggunakan Motor Servo.....	35
3.2.1 Desain Sistem 2.....	36
3.2.2 Rencana Anggaran Desain 2.....	39
3.2.3 Analisis Risiko Desain.....	40

3.2.4	Pengukuran Performa.....	40
3.3	Usulan Solusi 3 : <i>Solar Tracking Automatic Dual Axis 2 (STADA2)</i> Menggunakan Motor <i>Power window</i>	41
3.3.1	Desain Sistem 3.....	41
3.3.2	Rencana Anggaran Desain 3.....	45
3.3.3	Analisis Risiko Desain.....	46
3.3.4	Pengukuran Performa.....	46
3.4	Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik.....	47
3.5	Gantt <i>Chart</i>	48
3.6	Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1	49
BAB 4.	HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN.....	51
4.1	Hasil Rancangan Sistem	51
4.2	Pengukuran Kinerja dan Hasil Perancangan	55
BAB 5.	HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS.....	58
5.1	Analisis Hasil.....	58
5.1.1	Pengukuran dan Analisis Akurasi Sensor	58
5.1.2	Hasil dan Analisis Keluaran Daya <i>Solar Tracking Dual Axis (STADA)</i> dan Panel Surya Statis.....	61
5.1.3	Hasil dan Analisis Pengukuran Waktu Pengisian Baterai	65
5.1.4	Hasil dan Analisis Konsumsi Energi <i>Tracker</i>	68
5.1.5	Perbandingan Performa.....	70
5.1.6	Pemenuhan Spesifikasi Sistem	70
5.1.7	Pengalaman Pengguna	71
5.1.8	Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya.....	73
5.2	Dampak Implementasi Sistem	76
BAB 6.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	77
6.1	Kesimpulan.....	77
6.2	Saran	77
	DAFTAR PUSTAKA.....	78
	LAMPIRAN.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Stasiun Klimatologi DIY	11
Gambar 1.2 Taman alat Stasiun Klimatologi DIY.....	12
Gambar 2.1 Diagram hardware sistem solar tracking system dual axis	21
Gambar 2.2 Panel surya	22
Gambar 2.3 Baterai	23
Gambar 2.4 Solar charge controller	24
Gambar 2.5 Light Dependent Resistor (LDR).....	24
Gambar 2.6 Motor servo	25
Gambar 2.7 Modul <i>SD Card</i>	26
Gambar 2.8 NodeMCU ESP 32	26
Gambar 3.1 Diagram alir sistem secara umum.....	29
Gambar 3.2 Diagram blok sistem usulan 1	31
Gambar 3.3 Diagram alir desain sistem usulan 1	31
Gambar 3.4 Desain elektronis usulan 1	32
Gambar 3.5 Desain mekanis usulan 1	32
Gambar 3.6 Diagram blok sistem usulan 2.....	36
Gambar 3.7 Diagram alur desain usulan 2.....	37
Gambar 3.8 Desain elektronis usulan 2	37
Gambar 3.9 Desain mekanis usulan 2.....	38
Gambar 3.10 Diagram blok sistem usulan 3.....	42
Gambar 3.11 Diagram alur desain usulan 3.....	43
Gambar 3.12 Desain Elektronis usulan 3.....	43
Gambar 3.13 Desain mekanis usulan 3.....	44
Gambar 4.1 Rangkaian elektronik hasil rancangan sistem	51
Gambar 4.2 Desain final Solar Tracking Automatic Dual Axis (STADA)	52
Gambar 4.3 <i>Interface</i> monitoring STADA melalui aplikasi Blynk.....	53
Gambar 4.4 Hasil akhir rancangan elektronik	54
Gambar 4.5 Hasil akhir desain mekanis sistem <i>tracking</i>	55
Gambar 5.1 Pengujian terhadap pengukuran tegangan terbaca sensor INA 219.....	60

Gambar 5.2 Komponen pengujian akurasi sensor INA 219	61
Gambar 5.3 Pengujian terhadap pengukuran arus terbaca INA219.....	61
Gambar 5.4 Pengujian terhadap keluaran panel surya.....	64
Gambar 5.5 Grafik hasil perbandingan daya keluaran.....	64
Gambar 5.6 Persentase baterai sebelum Charging.....	66
Gambar 5.7 Persentase baterai setelah charging.....	67
Gambar 5.8 Kurva daya mengalir ke beban.....	69
Gambar 5.9 Kurva konsumsi energi <i>tracker</i> dan yang dihasilkan <i>tracker</i>	69

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Hasil survei antara pengembang dan pengguna.....	13
Tabel 2.1 Hasil studi literatur.....	18
Tabel 3.1 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras usulan 1	33
Tabel 3.2 Rencana anggaran pengembangan sistem 1.....	34
Tabel 3.3 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras usulan 2	38
Tabel 3.4 Rencana anggaran pengembangan sistem 2.....	39
Tabel 3.5 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras usulan 3	44
Tabel 3.6 Rencana anggaran pengembangan sistem 3.....	45
Tabel 3.7 Analisis kriteria solusi <i>solar tracking</i> otomatis	47
Tabel 3.8 Gantt <i>chart</i> pelaksanaan <i>Capstone Project</i>	48
Tabel 3.9 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 1	49
Tabel 5.1 Hasil pengukuran akurasi tegangan	59
Tabel 5.2 Hasil pengukuran akurasi arus.....	59
Tabel 5.3 Hasil pengukuran keluaran daya panel surya	62
Tabel 5.4 Pengukuran waktu pengisian baterai	66
Tabel 5.5 Pengukuran waktu pengisian baterai	66
Tabel 5.6 Hasil pengukuran daya konsumsi <i>tracker</i>	68
Tabel 5.7 Perbandingan performa sistem.....	70
Tabel 5.8 Perbandingan usulan dan hasil perancangan sistem	70
Tabel 5.9 Pengalaman pengguna	71
Tabel 5.10 Kesesuaian antara usulan dan realisasi <i>timeline</i> pengerjaan tugas akhir 2	73
Tabel 5.11 Kesesuaian RAB Tugas Akhir antara usulan dan realisasi.....	73
Tabel 5.12 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 2	74

RINGKASAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia di era modern ini. Kebutuhan listrik manusia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi. Peningkatan kebutuhan listrik tersebut terjadi pula di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Klimatologi DIY. Meskipun sebenarnya pasokan energi listrik di BMKG Stasiun Klimatologi DIY sudah tercukupi dengan adanya listrik PLN, dan memiliki cadangan generator serta energi surya. Namun penggunaan generator sebagai cadangan lebih banyak dibandingkan penggunaan energi listrik yang berasal dari energi surya, hal tersebut karena daya listrik dari panel surya yang belum optimal.

Dalam upaya mendukung *Sustainable Development Goals* (SDGs) point 7 tentang energi bersih serta ungkapan presiden RI Joko Widodo yang mengamanatkan agar mempercepat pergantian energi menuju energi terbarukan. Maka dirancang sebuah alat *tracking* skala kecil yang dapat memaksimalkan daya keluaran sehingga dapat mengurangi penggunaan energi tak terbarukan di BMKG Stasiun Klimatologi DIY.

Solar Tracking Automatic Dual Axis (STADA) merupakan implementasi perancangan sistem *tracking* panel surya secara otomatis secara dua sumbu. Sistem ini tersusun dari beberapa komponen utama yaitu panel surya, sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), motor servo dan kontroler. Sistem ini dapat memaksimalkan daya keluaran panel surya sebab *tracking* otomatis yang mampu mendeteksi letak matahari sehingga panel surya dapat menerima cahaya matahari secara optimal. Sistem ini juga memiliki fitur yang menyimpan daya keluaran tersebut dalam bentuk data ke SD Card. Selain itu, sistem ini juga telah terintegrasi *Internet of Things* (IoT) yang membuat data tersebut ditampilkan secara real time pada aplikasi blynk.

STADA telah melewati beberapa pengujian untuk memastikan sistem dapat berjalan dengan baik dan mencapai hasil yang diinginkan. Pengujian tersebut meliputi pengukuran akurasi sensor, pengujian efektifitas keluaran daya, pengukuran lama charging baterai dengan keluaran daya yang didapatkan, dan pengukuran terhadap daya yang mengalir ke beban. Berdasarkan pengujian ditemukan bahwa (STADA) mampu meningkatkan daya keluaran hingga 15,34% lebih besar dibanding panel surya statis. Dengan demikian, pengimplementasian STADA akan menjadi solusi permasalahan yang tepat bagi pengguna atau *stakeholder* dalam upaya peningkatan energi listrik.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang dan Identifikasi Masalah

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia di era modern ini [1]. Tanpa listrik, banyak aktivitas manusia yang tidak dapat berjalan dengan lancar, seperti penerangan, komunikasi, hiburan, dan produksi. Kebutuhan listrik manusia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi. Hal tersebut terjadi karena hampir semua kebutuhan memerlukan listrik, seperti rumah tangga, instansi-instansi pemerintah, perkantoran dan industri termasuk salah satunya yaitu Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Klimatologi DIY.



Gambar 1.1 Stasiun Klimatologi DIY

Gambar 1.1 merupakan instansi BMKG Stasiun Klimatologi DIY. Instansi tersebut adalah lembaga pemerintah yang bertanggung jawab untuk memberikan layanan informasi di bidang cuaca dan iklim. BMKG memiliki tugas, visi, dan misi yang berkaitan dengan pengamatan, pengolahan, penyampaian, dan kerja sama di bidang tersebut. Stasiun klimatologi BMKG memiliki tanggung jawab yang luas dalam menjalankan fungsinya. Mereka aktif dalam melakukan

pengamatan, pengumpulan, pengolahan, serta analisis data yang berkaitan dengan iklim, cuaca, dan kualitas udara. Selain itu, stasiun klimatologi juga bertugas menyediakan layanan informasi meteorologi, klimatologi, dan kualitas udara kepada masyarakat dan berbagai sektor [2].



Gambar 1.2 Taman alat Stasiun Klimatologi DIY

Gambar 1.2 merupakan taman alat BMKG Stasiun Klimatologi DIY yang berisi alat-alat untuk memonitoring kondisi udara. Untuk mendukung kinerja dan fungsinya dalam upaya mengamati dan memproses nilai yang digunakan untuk memberikan informasi pada masyarakat mengenai cuaca dan iklim maka digunakan beberapa sensor dan alat-alat bantu elektronika. Beberapa alat diantaranya yaitu *Automatic Solar Radiation Station (ASRS)*, *Automatic Weather System (AWS)*, dan *Iklim Mikro*. Dengan Berbagai jenis alat elektronika tersebut, BMKG sangat membutuhkan energi listrik mengingat hampir seluruh komponen yang digunakan merupakan komponen elektronik.

Pada dasarnya pasokan energi listrik di BMKG Stasiun Klimatologi DIY sudah tercukupi dengan adanya listrik PLN, dan memiliki suplai cadangan generator serta energi surya. Namun penggunaan generator sebagai cadangan lebih banyak digunakan daripada penggunaan energi listrik yang berasal dari energi surya, hal tersebut karena daya listrik dari panel surya yang terlalu kecil dan belum optimal yang disebabkan oleh pemasangan alat panel surya masih menggunakan

panel surya konvensional tanpa memperhatikan efisiensi cahaya yang diterima oleh panel surya, sehingga energi matahari yang terserap tidak maksimum. Meskipun demikian tidak ada alasan dibenarkannya penggunaan energi non terbarukan karena akan berdampak pada lingkungan sekitar karena penggunaan energi tak terbarukan yang tidak ramah lingkungan.

Dalam upaya mendukung *Sustainable Development Goals* (SDGs) point 7 tentang energi bersih serta ungkapan presiden RI Joko Widodo yang mengamanatkan agar mempercepat pergantian energi non terbarukan ke energi terbarukan. "Transformasi energi menuju energi baru dan terbarukan harus dimulai *Green economy, green technology, dan green product* harus diperkuat agar kita bisa bersaing di pasar global" ungkap presiden dalam beberapa penyampaian [3]. Oleh sebab itu dirancang sebuah alat *tracking* skala kecil yang memaksimalkan daya keluaran sehingga penggunaan energi terbarukan dapat dimaksimalkan sekaligus dapat mengurangi penggunaan energi non terbarukan yang sifatnya polusif terutama di BMKG Stasiun Klimatologi DIY.

Selanjutnya dilakukan proses observasi terhadap sistem *tracking* otomatis pada panel surya dimulai dengan menghubungi seorang ahli atau teknisi mitra yang bersangkutan yaitu BMKG Stasiun Klimatologi DIY. Berdasarkan Tabel 1.1, hasil survei menunjukkan bahwa sistem panel surya di instansi mitra belum menerapkan sistem *tracking* untuk memperoleh hasil daya keluaran solar panel yang optimal. Energi yang dikeluarkan panel surya belum dilakukan monitoring baik secara manual maupun otomatis.

Tabel 1.1 Hasil survei antara pengembang dan pengguna

Pertanyaan	Jawaban/tanggapan
Seberapa familiar anda (teknisi) dengan teknologi <i>Solar Tracking</i> Otomatis pada panel surya?	Kurang akrab.
Apakah Anda (teknisi) pernah menggunakan atau memiliki panel surya dengan sistem <i>Solar Tracking</i> Otomatis?	Tidak pernah menggunakan atau memiliki panel surya dengan sistem <i>Solar Tracking</i> Otomatis.
Seberapa penting memperhatikan tingkat kemiringan pada instalasi panel surya?	Sangat penting untuk diperhatikan.
Apakah alasan Anda (Teknisi) mengenai penting atau tidaknya memperhatikan tingkat kemiringan pada instalasi panel surya.	Untuk optimalisasi dalam pengisian baterai pada saat kurangnya intensitas cahaya.

Pertanyaan	Jawaban/tanggapan
Bagaimana Anda menilai efektivitas sistem <i>Solar Tracking</i> Otomatis dalam mengoptimalkan kinerja panel surya?	Efektifitas dalam pengoptimalan kinerja panel surya sangat efektif.
Apakah Anda memiliki preferensi terhadap jenis <i>Solar Tracking</i> Otomatis tertentu (misalnya, sistem satu sumbu (Single Axis) atau dua sumbu (Dual Axis) ?	Preferensi terhadap jenis <i>solar tracking</i> yaitu sistem satu sumbu atau <i>Single Axis</i> .
Apakah diperlukan alat pemantauan daya keluaran solar panel pada perancangan <i>Solar Tracking</i> Otomatis.	Ya, diperlukan alat monitoring daya keluaran solar panel.
Apabila iya (diperlukan alat pemantauan daya keluaran), fitur apakah yang diperlukan dalam monitoring daya keluarannya?	Memantau / monitoring daya <i>real-time</i> secara online (Melalui <i>web server</i>).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasar latar belakang yang telah diuraikan, maka didapatkan beberapa rumusan masalah yaitu diantaranya :

1. Bagaimana merancang *solar tracking* otomatis yang sesuai kebutuhan dan efektif dengan biaya yang terjangkau?
2. Bagaimana pengaruh *solar tracking* otomatis terhadap *output* daya yang dihasilkan?
3. Bagaimana perbandingan efektivitas daya yang dihasilkan dengan *solar tracking* otomatis dibanding panel surya statis?

1.3 Tujuan

Dari rumusan masalah yang telah dibuat, maka akan didapatkan beberapa tujuan yaitu :

1. Merancang sistem *solar tracking* otomatis sesuai kebutuhan dan efektif dengan biaya yang terjangkau.
2. Mengetahui pengaruh *solar tracking* otomatis terhadap output daya yang dihasilkan.
3. Mengetahui perbandingan keefektifan alat *solar tracking* otomatis dengan panel surya statis.

1.4 Batasan Masalah

1. Menggunakan panel surya dengan output 50 Wp atau sesuai ketersediaan di lapangan.
2. Mengabaikan rugi-rugi daya.
3. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP 32.
4. Sensor yang digunakan adalah sensor LDR.
5. Sistem yang digunakan yaitu *dual Axis* atau dua sumbu.
6. Pembuatan dan rancangan berdasarkan referensi yang diperoleh.
7. Pengolahan data keluaran daya panel surya berupa *data logger*.
8. Pengukuran dan percobaan alat dilakukan dalam 1 minggu atau dalam jangka waktu yang telah ditentukan.
9. Hanya mengukur daya keluaran dengan asumsi hanya disimpan ke baterai.

1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan

Adapun batasan realistis yaitu digunakannya *SD Card* sebagai penyimpanan data *offline* dan web server untuk monitoring daya keluaran secara *online*. Pembacaan data dilakukan dengan sensor daya INA 219 dengan data keluaran tegangan, arus dan daya. Pengolahan data yang diterima dari sensor serta beberapa perhitungan diproses menggunakan mikrokontroler ESP 32. Lalu digunakan baterai sebagai cadangan daya sekaligus penyimpanan daya dari panel surya sehingga dapat memberikan fleksibilitas pengguna alat. Rotasi panel surya menggunakan motor servo dengan torsi yang cukup untuk menggerakkan solar panel namun dengan konsumsi arus yang paling minimum. Sistem yang digunakan adalah sistem dua sumbu atau *Dual Axis* untuk mendapat sistem yang lebih efektif. Selain itu, secara dimensi dan desain produk akan dioptimalkan sehingga meminimalisir biaya produksi namun tetap mempertahankan kualitas dan target yang diinginkan. Faktor keamanan yang digunakan berupa fuse dan MCB berdasar acuan standar keamanan pada umumnya.

BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM

2.1 Studi Literatur dan Observasi

Solar tracking otomatis merupakan sebuah sistem yang dapat menggerakkan panel surya sesuai dengan arah datangnya cahaya matahari, sehingga panel surya dapat menangkap cahaya matahari sehingga akan menghasilkan daya listrik yang optimal. *Solar tracking* otomatis biasanya menggunakan sensor cahaya, seperti *Light Dependent Resistor* (LDR), untuk mendeteksi intensitas dan arah cahaya matahari, dan menggunakan motor servo atau aktuator untuk menggerakkan panel surya. *Solar tracking* otomatis dapat meningkatkan efisiensi panel surya hingga 27,4% dibandingkan dengan panel surya yang statis [4].

Jenis *solar tracking* otomatis dapat dibedakan berdasarkan jumlah sumbu pergerakan yang digunakan, yaitu:

1. *Solar tracking* otomatis satu sumbu (*single axis*): sistem ini hanya menggerakkan panel surya pada satu arah, yaitu horizontal atau vertikal. Dalam beberapa kasus menggunakan arah timur ke barat. Sistem ini lebih sederhana dan murah, tetapi kurang akurat dalam mengikuti arah cahaya matahari sepanjang hari [5].
2. *Solar tracking* otomatis dua sumbu (*dual axis*): sistem ini menggerakkan panel surya pada dua arah, yaitu horizontal dan vertikal. Sistem ini lebih kompleks dan mahal, tetapi lebih presisi dalam mengikuti arah cahaya matahari sepanjang hari [6].

Dalam upaya menggerakkan solar panel baik *single axis* ataupun *dual axis* diperlukan acuan sehingga gerakannya dapat sesuai dengan arah matahari. Dalam penerapannya terdapat beberapa jenis sensor yang digunakan sebagai acuannya. Dua diantaranya yaitu *Real time clock* (RTC) dan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR).

Real time clock (RTC) digunakan sebagai acuan pergerakan berdasarkan jam atau waktu nyata pergerakan matahari mulai dari terbit sampai terbenam [7]. Pada Penelitian tentang Sistem Monitoring pada Panel Surya Menggunakan *Data logger* Berbasis ATmega 328 dan *Real Time Clock* DS1307 menyatakan bahwa panel surya bisa mencatat arus, tegangan, suhu serta kelembaban berdasarkan waktu nyata [8].

Kelebihan dari penggunaan RTC yaitu lebih mudah dalam instalasinya, karena hanya membutuhkan satu buah RTC sebagai acuan. Akan tetapi terdapat kekurangan dimana *tracking* hanya berdasarkan waktu dan sudut yang telah ditentukan sehingga memungkinkan penerimaan cahaya pada panel surya kurang optimal. Sedangkan untuk kelebihan dari penggunaan LDR yaitu dapat mendeteksi kondisi cahaya matahari terbaik secara *real time*. Namun terdapat kekurangan yaitu instalasinya sedikit rumit pasalnya akan dibutuhkan beberapa sensor LDR supaya penerimaan cahaya matahari ke panel surya lebih akurat.

Menurut penelitian tentang Optimasi Daya Keluaran Pada Solar Panel Dengan Metode *Tracking* Berbasis *Internet Of Things*, dengan Nodemcu esp8266 yang terhubung ke internet maka daya terbaca akan dikirim dan ditampilkan ke web thinger.io secara *real time* dan terus menerus melalui sambungan wifi yang telah tersambung ke dalam nodemcu [9].

Tabel 2.1 merupakan ringkasan penelitian mengenai *solar tracking* dalam beberapa aspek. Misal penggunaan tracking satu sumbu atau dua sumbu, monitoring secara offline atau online untuk data real time, mikrokontroler yang digunakan, jenis panel surya, sensor atau tanpa sensor, dan jenis penggerak panel surya.

Tabel 2.1 Hasil studi literatur

Judul	Usulan solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
Optimasi Daya Keluaran Pada Solar Panel Dengan Metode <i>Tracking</i> Berbasis <i>Internet Of Things</i> [4].	Solusi yang ditawarkan peneliti berupa penggunaan mikrokontroler Wemos D1 mini untuk mengontrol sistem <i>tracking</i> dan mengirim data daya keluaran panel surya ke server.	<p>Hasil: Ditampilkan data daya keluaran solar panel secara <i>real-time</i> dan grafik perbandingan antara panel surya statis, panel surya dengan <i>tracking</i>, dan panel surya dengan <i>tracking</i> dan lensa <i>fresnel</i> yang mampu mengoptimalkan daya keluaran panel surya sebesar 27,4 %.</p> <p>Kelebihan: Lensa <i>fresnel</i> pada sistem <i>tracking</i> digunakan untuk mendapat cahaya yang lebih maksimal, sehingga daya yang dihasilkan akan lebih maksimal pula.</p> <p>Kekurangan: <i>Solar tracker</i> berbasis <i>internet of things</i> membutuhkan koneksi internet yang stabil dan aman, sehingga jika terjadi gangguan jaringan atau serangan siber, maka sistem <i>tracking</i> dan monitoring dapat terhambat atau terputus.</p>

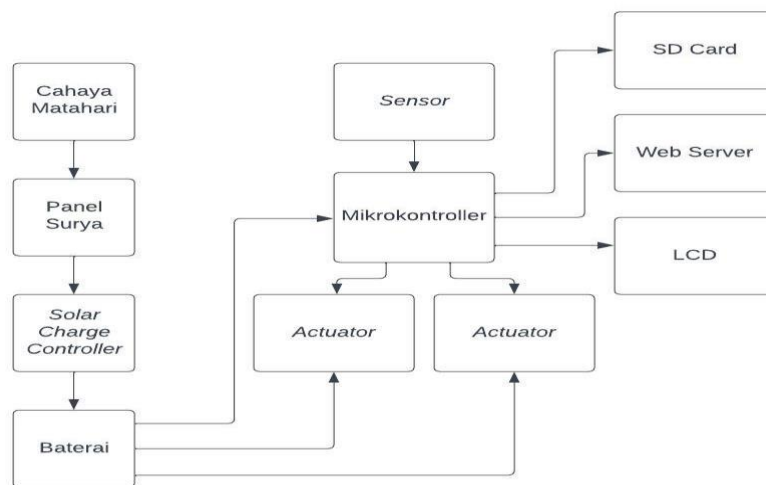
Judul	Usulan solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
<p>Sistem Kendali <i>Solar Tracker</i> Satu Sumbu berbasis Arduino dengan Sensor LDR [5].</p>	<p>Solusi yang ditawarkan yaitu <i>solar tracking</i> dapat mengikuti arah matahari mulai dari timur ke barat dengan bantuan arduino uno dan sensor LDR.</p>	<p>Hasil: Sistem ini menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler, sensor LDR sebagai pendeteksi cahaya, dan <i>linear actuator</i> sebagai penggerak panel surya, sistem kendali <i>solar tracker</i> dapat meningkatkan daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 13.41 W, atau sekitar 30% lebih besar daripada panel surya statis.</p> <p>Kelebihan: <i>Linear actuator</i> sebagai penggerak panel surya, sistem kendali solar tracker dapat meningkatkan daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 13.41 W.</p> <p>Kekurangan: Penelitian ini hanya melakukan pengujian pada solar tracker satu sumbu, yaitu gerakan dari timur ke barat. Padahal, gerakan matahari juga dipengaruhi oleh lintang dan musim, sehingga <i>solar tracker</i> dua sumbu yang dapat bergerak dari utara ke selatan mungkin lebih optimal</p>
<p><i>Solar Cell</i> Otomatis dengan Pengaturan <i>Dual Axis Tracking System</i> Menggunakan Arduino Uno [6].</p>	<p>Solusi yang ditawarkan peneliti berupa metode pembacaan database dari sudut azimuth dan sudut elevation yang kemudian diproses oleh Arduino Uno, dalam menentukan posisi aktuatornya.</p>	<p>Hasil: Alat tersebut memungkinkan dapat mengikuti pergerakan matahari sehingga mampu menyerap cahaya secara maksimal.</p> <p>Kelebihan: <i>Solar cell</i> otomatis menggunakan metode pembacaan database dari sudut azimuth dan sudut elevation sehingga sistem lebih akurat dan efisien. Pemakaian dua sumbu membuat sistem lebih fleksibel dan responsif.</p> <p>Kekurangan: <i>Solar cell</i> otomatis membutuhkan perangkat elektronik yang lebih banyak, seperti sensor, motor, mikrokontroler, dan database, yang dapat meningkatkan biaya pembuatan dan perawatan serta risiko kerusakan.</p>

Judul	Usulan solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
<p><i>Solar Tracker</i> Cerdas dan Murah Berbasis Mikrokontroler 8 Bit ATmega8535 [7].</p>	<p>Solusi yang ditawarkan peneliti yaitu mampu meminimalkan konsumsi energi dan meminimalkan biaya produksi namun tetap mengedepankan kualitas dengan memasukkan filter digital untuk mengurangi <i>noise</i> pada pembacaan sensor LDR.</p>	<p>Hasil: Peneliti berhasil memasukkan filter digital <i>Infinite Impulse Response</i> (IIR) pada bagian program untuk mengurangi <i>noise</i> pada sinyal sensor <i>Light Dependent Resistor</i> (LDR) yang digunakan untuk mendeteksi intensitas dan arah cahaya matahari.</p> <p>Kelebihan: <i>Solar tracker</i> cerdas menggunakan filter digital IIR untuk mengurangi <i>noise</i> pada sinyal sensor LDR, sehingga dapat meningkatkan akurasi dan stabilitas sistem.</p> <p>Kekurangan: <i>Solar tracker</i> cerdas membutuhkan pengetahuan dan keterampilan yang cukup tinggi dalam pemrograman bahasa <i>assembly</i>, yang merupakan bahasa level <i>hardware</i>, untuk mengimplementasikan filter digital IIR pada mikrokontroler 8 bit</p>
<p>Implementasi <i>Solar Tracker</i> Tanpa Sensor pada Panel Surya [8].</p>	<p>Sistem pelacakan matahari (<i>solar tracker</i>) diimplementasikan dengan Arduino dan <i>Real Time Clock</i> (RTC) DS3231 sebagai timer. Sistem ini dapat menghitung sudut elevasi dan azimuth matahari berdasarkan tanggal, waktu, dan lokasi panel surya.</p>	<p>Hasil: Sistem <i>solar tracker</i> berbasis <i>Real Time Clock</i> (RTC) sebagai timer.</p> <p>Kelebihan: Sistem yang dibuat lebih sederhana daripada <i>solar tracking</i> otomatis berbasis sensor seperti LDR.</p> <p>Kekurangan: Tidak terdapat perbandingan hasil antara panel surya statis dan panel surya yang menggunakan <i>solar tracking</i>.</p>
<p>Rancang Bangun Monitoring <i>Solar Tracking System</i> Menggunakan Arduino dan Nodemcu Esp 8266 Berbasis IoT [9].</p>	<p>Solusi yang ditawarkan peneliti adalah sistem monitoring berbasis IoT dengan memanfaatkan Nodemcu Esp8266.</p>	<p>Hasil: Sistem <i>Solar Tracking</i> berbasis IoT</p> <p>Kelebihan: Sistem monitoring jarak jauh dapat memberikan informasi dan notifikasi pengguna melalui web atau <i>smartphone</i>.</p> <p>Kekurangan: Membutuhkan koneksi internet yang stabil dan aman dan perlu menggunakan <i>server cloud</i> untuk menyimpan dan mengolah data dengan kapasitas dan kecepatan yang cukup.</p>

Berdasarkan hasil observasi dan studi literatur yang telah dilakukan diketahui penggunaan *dual axis* dan sensor *Light Dependent Resistor* LDR membantu memaksimalkan daya keluaran serta penggunaan *Internet of Things* mempermudah dalam memonitoring *output* daya solar panel. Sehingga pada penelitian ini akan dibuat sistem *solar tracking automatic Dual Axis* menggunakan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) dengan bantuan mikrokontroler ESP 32 yang digunakan untuk monitoring *output* daya keluaran solar panel secara IoT.

2.2 Dasar Teori

Panel surya adalah alat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek fotovoltaiik.. Arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat disimpan dalam baterai atau disalurkan ke perangkat elektronik yang membutuhkannya [10]. Panel surya juga memerlukan *solar tracking* otomatis untuk memaksimalkan daya keluaran mereka. Sistem *solar tracking* ini secara otomatis menyesuaikan posisi panel surya agar selalu menghadap matahari sepanjang hari, mengoptimalkan penerimaan cahaya matahari dan meningkatkan efisiensi konversi energi. Sistem ini menggunakan sensor cahaya dan *actuator* berupa motor servo sebagai masukan pelacak pergerakan matahari dan pengatur orientasi panel surya secara tepat berdasarkan cahaya yang diterima sensor cahaya. Adapun diagram *hardware* sistem *solar tracking* otomatis untuk mengoptimalkan daya keluaran panel surya secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar.



Gambar 2.1 Diagram hardware sistem solar tracking system dual axis

Pada gambar 2.1 terdapat tiga bagian sistem yaitu mikrokontroler, sensor dan motor. Pada bagian mikrokontroler terdapat ESP 32 yang sudah terisi dengan program sistem *solar tracking dual axis*. ESP 32 digunakan sebagai pusat dari sistem kontrol *solar tracking dual axis* dan monitoring daya keluaran secara *offline* maupun *online*.

Pada bagian sensor terdapat tipe sensor yang digunakan yaitu sensor *Light Dependent Resistor* (LDR). Sensor LDR berfungsi sebagai pendeteksi sumber cahaya sekaligus inputan untuk ESP 32. Pada bagian motor terdapat motor servo. Motor servo berfungsi sebagai *output* untuk menggerakkan panel surya sesuai dengan nilai *input* yang masuk.

1. Panel Surya



Gambar 2.2 Panel surya

Gambar 2.2 merupakan panel surya, adapun panel surya adalah kumpulan sel surya yang ditata sedemikian rupa agar efektif dalam menyerap sinar matahari. Sedangkan yang bertugas menyerap sinar matahari adalah sel surya. Sel surya sendiri terdiri dari berbagai komponen *photovoltaic* atau komponen yang dapat mengubah cahaya menjadi listrik. Umumnya sel surya terdiri dari lapisan silikon yang bersifat semikonduktor, metal, anti reflektif, dan strip konduktor metal.

Banyaknya sel surya yang disusun untuk menjadi panel surya akan berbanding lurus dengan energi yang dihasilkan. Dalam artian semakin banyak sel surya yang digunakan, maka semakin banyak pula energi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik. Ada beberapa jenis

sel surya yang telah dimanfaatkan dan dapat ditemui di pasaran, diantaranya adalah *Monocrystalline Silicon PV Module*, *Polycrystalline Silicon PV Module*, *Amorphous Silicon PV Module*, dan *Hybrid Silicon PV Module*.

2. Baterai



Gambar 2.3 Baterai

Gambar 2.3 merupakan komponen baterai atau *Accu* yang merupakan alat penyimpanan energi listrik melalui proses elektrokimia. Proses elektrokimia adalah proses terjadinya perubahan kimia menjadi listrik (proses pengosongan) dan listrik menjadi kimia dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda pada baterai yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan pada sel.

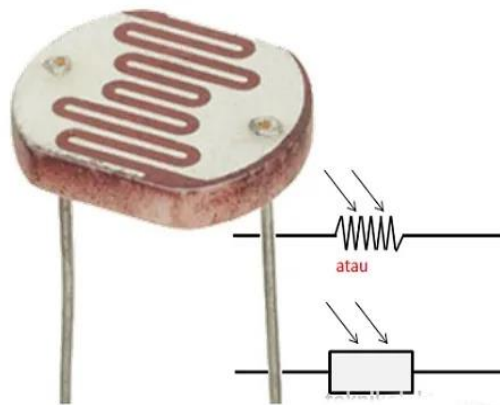
3. Solar Charge Controller



Gambar 2.4 Solar charge controller

Gambar 2.4 merupakan *Solar charge controller* yang berfungsi mengatur pengisian baterai pada sistem panel surya, *Solar charge controller* memastikan baterai diisi dengan laju dan tingkat yang sesuai, sehingga dapat memperpanjang umur baterai dan mencegah kerusakan pada baterai. Ada dua jenis utama *solar charge controller*, yaitu *Pulse Width Modulation (PWM)* dan *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*. PWM cocok untuk sistem kecil dengan baterai sejenis, mengirimkan pulsa-pulsa listrik dengan lebar yang bervariasi untuk meningkatkan efisiensi pengisian hingga 75%. Sementara itu, MPPT lebih cocok untuk sistem besar dengan baterai berbeda, menyesuaikan tegangan dan arus listrik untuk mencapai titik optimal, meningkatkan efisiensi pengisian hingga 95%.

4. Light Dependent Resistor (LDR)



Gambar 2.5 Light Dependent Resistor (LDR)

Gambar 2.5 merupakan modul LDR, salah satu jenis resistor yang dapat mengalami perubahan resistansinya tergantung cahaya yang diterima. Nilai hambatan pada sensor cahaya jenis LDR ini tergantung pada besar kecilnya cahaya yang diterima LDR. LDR disebut sensor yang berupa resistor yang peka cahaya. LDR umumnya terbuat dari cadmium sulfida yaitu merupakan bahan semikonduktor yang resistansinya berubah-ubah menurut banyaknya cahaya (sinar) yang diterima. Resistansi LDR di tempat gelap mencapai sekitar $10\text{ M}\Omega$, dan ditempat terang resistansi LDR turun menjadi sekitar $150\ \Omega$. Seperti halnya resistor konvensional, pemasangan LDR dalam suatu rangkaian sama persis seperti pemasangan resistor biasa.

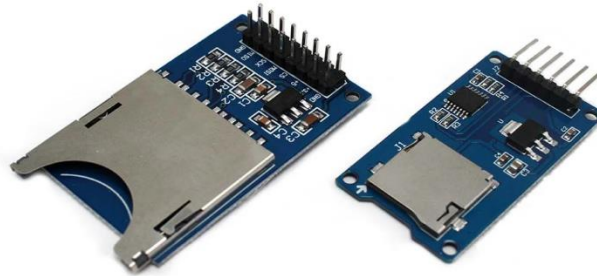
5. Motor Servo



Gambar 2.6 Motor servo

Gambar 2.6 adalah Motor servo yang biasanya difungsikan untuk mendorong atau memutar objek dengan kontrol yang dengan presisi tinggi dalam hal posisi sudut, akselerasi dan kecepatan, sebuah kemampuan yang tidak dimiliki oleh motor biasa. Hal ini dimungkinkan dengan kombinasi motor biasa dan tambahan sensor dalam hal ini berupa encoder untuk umpan balik posisi. Kontroler dari motor servo yang lebih dikenal dengan nama *servo drive* adalah bagian yang paling penting dan canggih dari sebuah servo motor, karena dirancang untuk presisi tinggi.

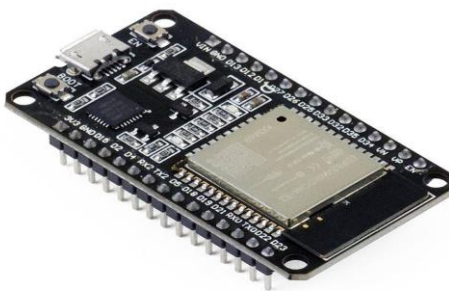
6. Modul *SD Card*



Gambar 2.7 Modul *SD Card*

Gambar 2.7 adalah Modul *SD Card*. *SD Card* adalah sebuah modul yang berfungsi untuk membaca dan menulis data ke dari *SD Card*. Modul ini memiliki *interfacing* menggunakan komunikasi SPI. Tegangan kerja dari modul ini dapat menggunakan level tegangan 3.3V DC atau 5V DC, yang dapat digunakan salah satunya. Modul ini cocok digunakan untuk membuat piranti-piranti yang membutuhkan suatu penyimpanan bersifat *non-volatile* (data akan tetap tersimpan walaupun tidak mendapatkan *supply* tegangan) dengan kapasitas besar, hingga mencapai Gigabyte.

7. NodeMCU ESP 32



Gambar 2.8 NodeMCU ESP 32

Gambar 2.8 merupakan gambar Mikrokontroler NodeMcu ESP32 yang dikenal sebagai *Espressif System* merupakan pengembangan dari mikrokontroler ESP8266. Secara Spesifikasi ESP32 sangat lengkap, Sehingga mikrokontroler ini sangat tepat untuk kita gunakan terutama

untuk aplikasi yang berhubungan dengan *Internet Of Things* (IoT), Karena mikrokontroler ini bisa berkomunikasi menggunakan Wifi, BLE , Bluetooth.

2.3 Analisis Stakeholder

Dalam merancang sistem *solar tracking* otomatis, bekerja sama dengan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Stasiun Klimatologi Daerah Istimewa Yogyakarta (BMKG Staklim DIY) menjadi *stakeholder* penting dalam proyek ini. BMKG Staklim DIY sebagai mitra utama proyek adalah salah satu pemangku kepentingan yang paling krusial. BMKG Staklim DIY memiliki kebutuhan yang kuat dalam memaksimalkan penggunaan panel surya yang efisien untuk alat-alat yang berfungsi mengumpulkan data yang akurat sebagai alat monitor cuaca dan iklim. Oleh karena itu, BMKG Staklim DIY akan berperan aktif dalam menyediakan panduan teknis, spesifikasi, dan umpan balik yang berguna dalam perancangan sistem *solar tracking* ini.

2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem

Beberapa aspek yang mempengaruhi sistem *solar tracking* salah satunya pada bidang ekonomi yaitu dengan digunakannya sistem tracking maka akan memaksimalkan daya keluaran panel surya sehingga mitra dapat mengurangi penggunaan energi listrik dari PLN maupun penggunaan generator yang menggunakan bahan bakar minyak (BBM). Secara tidak langsung hal tersebut tentu akan meminimalisir pengeluaran biaya konsumsi listrik. Untuk aspek lingkungan penerapan sistem *tracking* yang dapat memaksimalkan daya keluaran panel surya ini tentu akan mengurangi porsi penggunaan generator masih menggunakan BBM yang berdampak buruk pada lingkungan, dengan demikian penerapan sistem ini dapat mengurangi dan mencegah terjadinya kerusakan lingkungan. Adapun dalam aspek kemudahan, pengaplikasian sistem *tracking* ini meliputi kemudahan untuk mendapatkan daya keluaran panel surya yang maksimal tanpa harus mengatur kemiringan panel surya secara manual. Hal tersebut tentu akan sangat mempermudah mitra dalam upaya mendapatkan daya keluaran panel surya yang lebih besar dan maksimal. Juga monitoring dengan menerapkan *Internet of Things* (IoT) memudahkan mitra dalam memantau daya keluaran panel surya.

2.5 Spesifikasi Sistem

Berdasarkan kajian literatur, dasar teori dan informasi yang didapat, maka diperlukan sebuah sistem dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Sistem *tracking* yang dibangun sebagai *prototyping* berguna untuk mengikuti arah matahari secara dual axis dengan perputaran maksimal 180 derajat.
- Dimensi solar panel 50 x 75 cm dengan output daya maximum 50Wp.
- Metode *tracking* dilakukan dengan bantuan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR).
- Catu daya dan penyimpanan energi dari solar panel menggunakan baterai dengan spesifikasi tegangan 12V dan kapasitas 9Ah.
- Pemantauan nilai arus dan tegangan dapat dilihat dengan perangkat eksternal atau melalui *data logger* yang disimpan dalam *SD card*.
- Motor servo dengan torsi 25kg.
- *Solar Charge Controller* (SCC) berjenis *Pulse Width Modulation* (PWM).

BAB 3. USULAN SOLUSI



Gambar 3.1 Diagram alir sistem secara umum

Gambar 3.1 merupakan diagram alir sistem *solar tracking otomatis* secara umum. Sistem akan bekerja berdasarkan hasil baca sensor, dimana sensor akan mengirimkan hasil baca cahaya matahari terbaik ke mikrokontroler kemudian mikrokontroler akan memproses data hasil baca tersebut untuk memerintahkan motor bergerak menggerakkan panel surya ke arah berdasarkan hasil baca sensor sehingga panel surya dapat menerima cahaya matahari secara optimal.

3.1 Usulan Solusi 1 : *Solar Tracking Automatic Single Axis (STASA) Berbasis RTC*

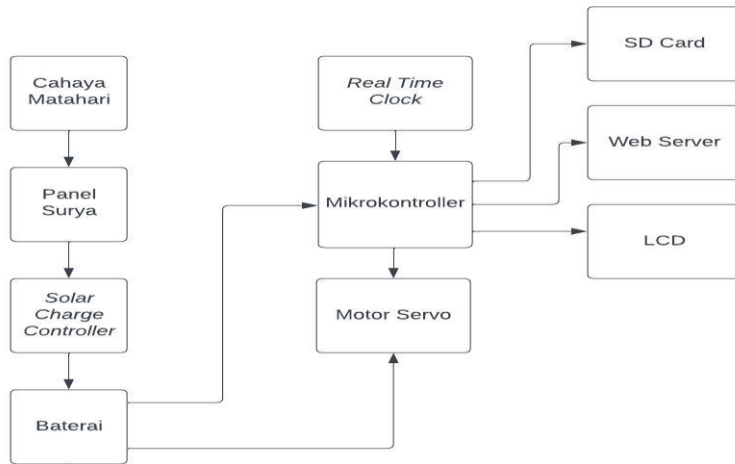
STASA merupakan suatu implementasi perancangan sistem *tracking* panel surya secara otomatis secara satu sumbu yaitu ke timur atau ke barat. Sistem ini tersusun dari beberapa komponen utama yaitu panel surya sebagai penerima cahaya matahari, *Real Time Clock (RTC)* sebagai input waktu berdasar waktu perubahan posisi matahari, Motor servo sebagai penggerak

panel surya, serta kontroler yang berfungsi mengatur alur kerja sistem baik secara *offline* maupun secara *online*.

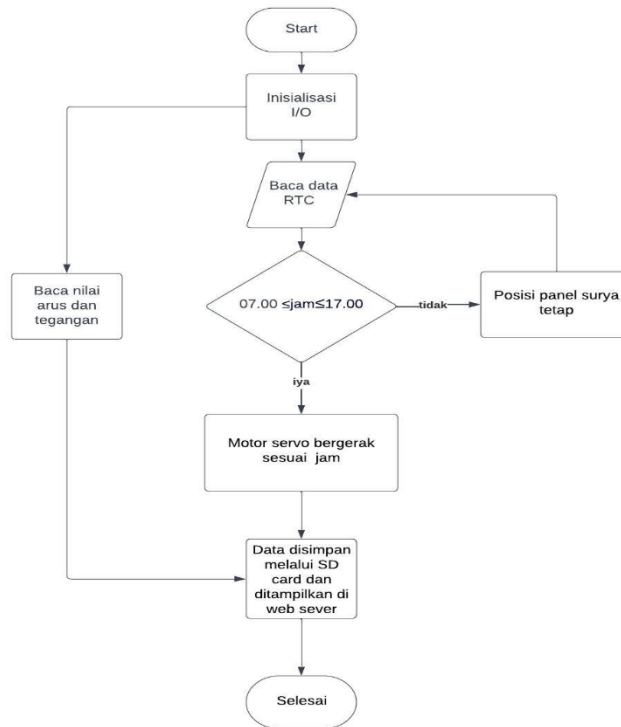
Meskipun *single axis*, STASA ini dapat menjadi suatu solusi dari permasalahan yang ada, pasalnya dengan adanya *tracking* panel surya secara otomatis, tentu *output* yang dihasilkan akan lebih besar daripada sistem panel surya tanpa *tracking* karena jatuhnya cahaya matahari akan semakin tepat pada titik tengah panel surya sehingga efisiensinya cenderung lebih besar. Selain itu penggunaan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) akan mempermudah pengguna dalam memonitoring *output* dari panel surya secara jarak jauh.

3.1.1 Desain Sistem 1

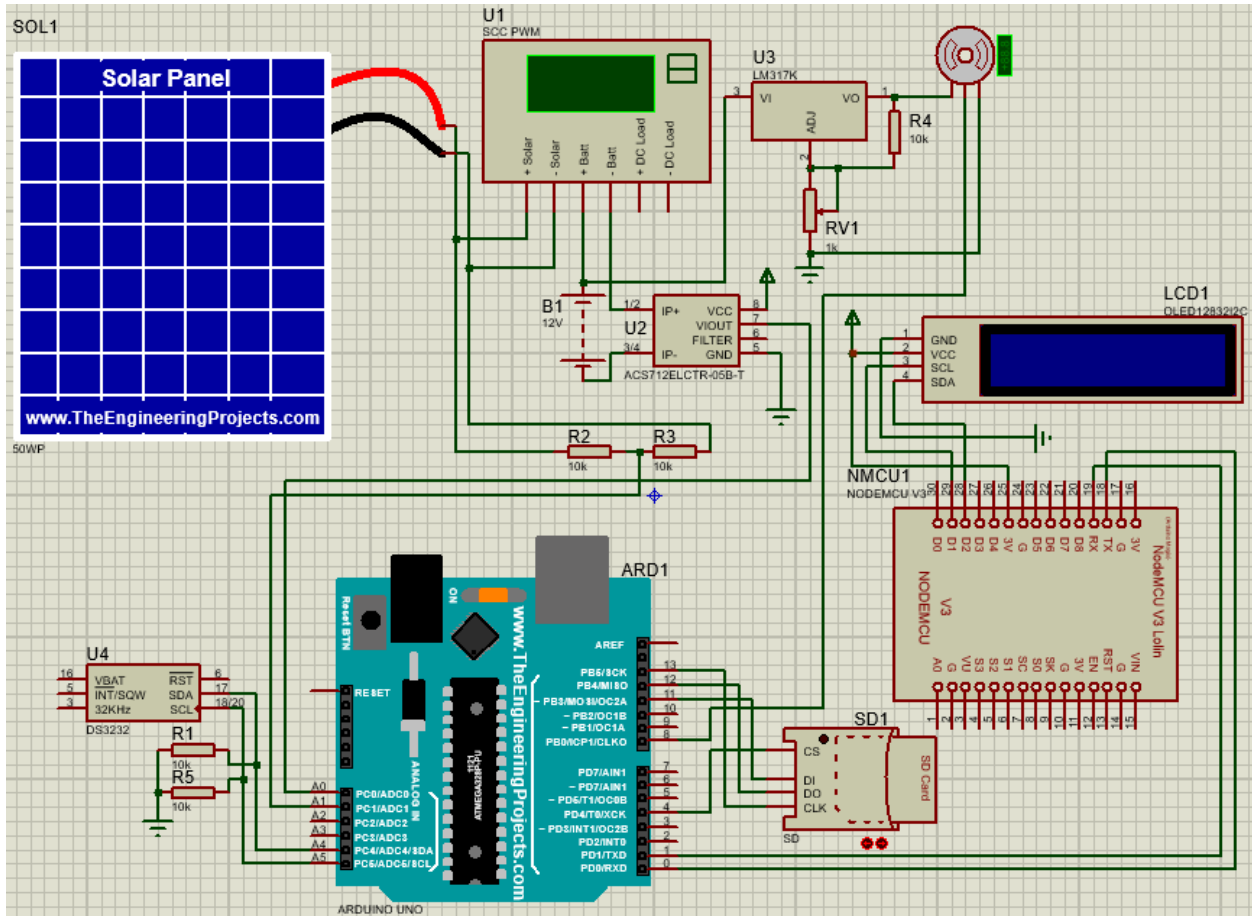
Usulan desain sistem *Solar Tracking Automatic Single Axis* (STASA) menggabungkan berbagai komponen untuk meningkatkan efisiensi panel surya. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai otak utama, yang tidak hanya memproses data input dari *Real Time Clock* (RTC) untuk mendapatkan informasi waktu yang akurat, tetapi juga berfungsi sebagai *data logger* dengan sensor arus dan tegangan. Komunikasi dengan pengguna dilakukan melalui ESP32, memberikan antarmuka yang mudah diakses. Motor servo bertanggung jawab sebagai aktuator untuk menggerakkan panel surya secara otomatis sesuai dengan waktu perubahan posisi matahari. Sebagai sumber daya, baterai digunakan untuk penyimpanan energi, memberikan keandalan operasional bahkan ketika sumber listrik eksternal terputus. Sistem ini juga dilengkapi dengan *Solar Charge Controller* (SCC) untuk mengatur pengisian baterai dengan efisien dan *SD Card* untuk menyimpan data keluaran daya panel surya. Kerangka mekanis terbuat dari besi baja ringan, memberikan kekuatan struktural, sementara akrilik berfungsi sebagai penutup *data logger* yang melindungi komponen dari kondisi lingkungan yang berubah – ubah. Semua komponen yang kompleks ini disatukan dalam suatu *enclosure* yang kokoh dan tahan terhadap cuaca serta kondisi lingkungan yang beragam.



Gambar 3.2 Diagram blok sistem usulan 1



Gambar 3.3 Diagram alir desain sistem usulan 1



Gambar 3.4 Desain elektronis usulan 1



Gambar 3.5 Desain mekanis usulan 1

Untuk dapat memenuhi usulan sistem tersebut, maka diperlukan inventarisasi kebutuhan sistem perangkat keras. Tabel 3.1 memperlihatkan kebutuhan sistem sesuai usulan dan spesifikasi yang dibutuhkan.

Tabel 3.1 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras usulan 1

No	Nama Alat	Keterangan
1	Desain kerangka	<p>Kerangka Mekanis: Dibuat sebagai tempat dudukan yang menopang semua komponen dan alat serta memungkinkan terjadinya pergerakan tracking mekanis panel surya secara efisien. Kerangka mekanis ini tersusun dari beberapa besi dan kombinasi <i>gear</i>.</p> <p><i>Cover Box</i>: Dibuat untuk menjadi tempat mounting alat (sistem yang tidak boleh terkena panas berlebih dan air) yang telah dirancang agar terhindar dari terik matahari dan hujan. Bagian ini dibuat dari bahan filamen 3D printing maupun bahan sejenis.</p> <p>Box Panel / <i>Enclosure</i>: Dibuat untuk menjadi tempat komponen sistem seperti baterai, <i>Solar Charge Controller (SCC)</i>, <i>data logger</i>, dan inverter. Bahan yang digunakan yaitu polyester dengan <i>base plate metal</i>.</p>
2	Modul Sensor	<p><i>Real Time Clock (RTC)</i>: Bertanggung jawab untuk melacak waktu secara <i>real-time</i>, independen dari sumber daya utama sistem. RTC ini seringkali memiliki baterai cadangan sehingga dapat terus menjalankan fungsinya meskipun daya utama dimatikan.</p>
2	Kontroler dan Komunikasi User	<p>Arduino Uno: Digunakan untuk pengolahan data yang baik sehingga dapat digunakan dalam upaya mengatur kinerja sistem berdasarkan pemrosesan data yang digunakan. Dalam kasus ini untuk mengatur pergerakan panel surya berdasarkan data terbaca dari sensor.</p> <p>ESP 32: Mikrokontroler ini dilengkapi dengan banyak fitur diantaranya bluetooth dan wifi yang memungkinkan transfer data daya keluaran panel surya dari sistem kepada user dapat dilakukan melalui internet.</p> <p><i>Solar Charge Controller (SCC)</i> : Digunakan untuk membantu proses penyimpanan daya dari panel surya menuju baterai. Bagaian ini berperan penting untuk memaksimalkan proses penyimpanan daya yang sangat berpengaruh pada usia baterai.</p>
3	Motor penggerak	<p>Motor Servo: Fungsi utama motor servo dalam solar tracking ini adalah menggerakkan mekanisme penyesuaian panel surya secara presisi sesuai dengan perubahan posisi matahari. Motor servo menerima sinyal kontrol dari sistem pelacak waktu.</p>

No	Nama Alat	Keterangan
4	Penyimpanan	<p>Baterai : Digunakan sebagai sarana untuk menyimpan daya keluaran dari panel surya yang nantinya daya tersimpan tersebut dapat digunakan untuk aplikasi lainnya.</p> <p><i>SD Card</i> : Digunakan sebagai sarana penyimpanan data arus dan tegangan yang dirubah menjadi daya melalui proses dari controler berdasar hasil baca sensor arus dan tegangan yang membaca dari panel surya secara langsung.</p>

3.1.2. Rencana Anggaran Desain Sistem 1

Tabel 3.2 merupakan ringkasan perencanaan anggaran untuk usulan solusi pertama. Tabel 3.2 memberikan perkiraan biaya untuk komponen-komponen yang diperlukan sepanjang tahapan perencanaan hingga implementasi dengan tujuan memastikan alokasi dana yang tepat serta efisien.

Tabel 3.2 Rencana anggaran pengembangan sistem 1

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	Panel Surya 50 Wp 17.8V 2.81A	Pcs	Rp. 335.000, -	1	Rp. 335.000, -
2	Modul RTC	Pcs	Rp. 27.000, -	1	Rp. 27.000, -
3	Arduino UNO	Pcs	Rp. 70.000, -	1	Rp. 70.000, -
4	Sensor Arus ACS712	Pcs	Rp. 27.000, -	1	Rp. 27.000, -
5	ESP 32	Pcs	Rp. 60.000, -	1	Rp. 60.000, -
6	Motor Servo torsi 25 kg	Pcs	Rp. 186.000, -	1	Rp. 186.000, -
7	Baterai 12V 9Ah	Pcs	Rp. 130.000, -	1	Rp. 130.000, -
8	Box Panel	Pcs	Rp. 270.000	1	Rp. 270.000,-
9	SCC PWM	Pcs	Rp. 40.000	1	Rp. 40.000,-
10	Besi dan Las Kerangka	Paket	Rp. 200.000, -	1	Rp. 200.000, -
11	Kabel dan peralatan solder	Paket	Rp. 200.000, -	1	Rp. 200.000, -
12	Lain-lain	-	Rp. 100.000, -	1	Rp. 100.000, -
Total Belanja					Rp. 1.645.000, -

3.1.3 Analisis Risiko Desain 1

Salah satu risiko yang perlu diwaspadai dalam penggunaan *Real Time Clock* (RTC) adalah kemungkinan terjadinya kesalahan baca data. Jika RTC mengalami kegagalan dalam membaca data dengan benar, konsekuensinya dapat menciptakan kesalahan dalam database yang berdampak pada kinerja motor servo. Jika motor servo bergerak melebihi batas yang diinginkan, terdapat potensi risiko seperti kemungkinan kerusakan atau patahnya penahan pada motor servo yang

bertanggung jawab mengendalikan gerak panel surya. Selain risiko kesalahan baca data, ada pula potensi risiko terkait dengan kegagalan komunikasi dalam sistem jaringan. Kegagalan ini dapat disebabkan oleh terputusnya suplai daya.

3.1.4 Pengukuran Performa

Performa yang diukur dalam perancangan usulan ini yaitu seberapa besar energi yang dihasilkan setelah dikurangi konsumsi energi dari beban. Dalam kasus ini beban yang digunakan adalah 1 baterai dan 1 motor servo. Pengukuran dilakukan pada kondisi *loop* tertutup. Untuk pengukuran daya yang dihasilkan dari panel surya dilakukan dengan bantuan *data logger*. Adapun perhitungan energi yang dihasilkan dilakukan dengan mengalikan total arus dan total tegangan dalam kurun waktu sehari yang tersimpan dalam *data logger*. Sedangkan untuk pengukuran beban dilakukan dengan menggunakan multimeter yang dihubungkan pada rangkaian beban guna mengukur arus dan tegangannya yang kemudian akan dikalikan dengan lamanya durasi penggunaan beban. Berdasarkan perkiraan yang dilakukan, penggunaan *tracking* pada sistem satu sumbu atau *single axis* dinilai cukup efisien dibanding sistem tanpa *tracking*.

3.2 Usulan Solusi 2 : *Solar Tracking Automatic Dual Axis 1 (STADA1)* Menggunakan Motor Servo

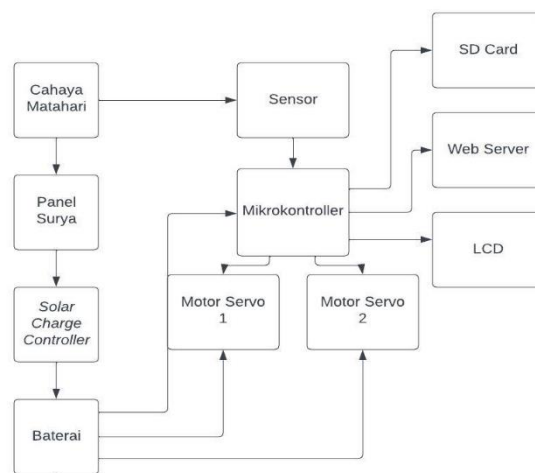
STADA1 merupakan suatu implementasi perancangan sistem *tracking* panel surya secara otomatis secara dua sumbu yaitu dari utara keselatan dan dari timur ke barat. Sistem ini tersusun dari beberapa komponen utama yaitu panel surya sebagai penerima cahaya matahari, empat sensor *Light Dependent Resistor (LDR)* sebagai pembacaan intensitas cahaya matahari, dua motor servo sebagai penggerak panel surya, kontroler yang berfungsi mengatur alur kerja sistem baik secara *offline* maupun secara *Internet of Things (IoT)*, serta *SD Card* yang berfungsi untuk menyimpan data daya keluaran panel surya.

Penggunaan *dual axis* pada STADA1 menjadikan sistem ini lebih handal dan tentunya akan menjadikan efisiensi daya keluaran lebih baik dari pada tanpa *tracking* ataupun *single axis*. pasalnya *tracking* dengan *dual axis* tentu akan menjadikan panel surya dapat menerima cahaya matahari secara akurat dan presisi sehingga daya keluaran yang dihasilkan akan jauh lebih besar. Selain itu penggunaan IoT memudahkan pengguna dalam memantau kinerja dan hasil keluaran

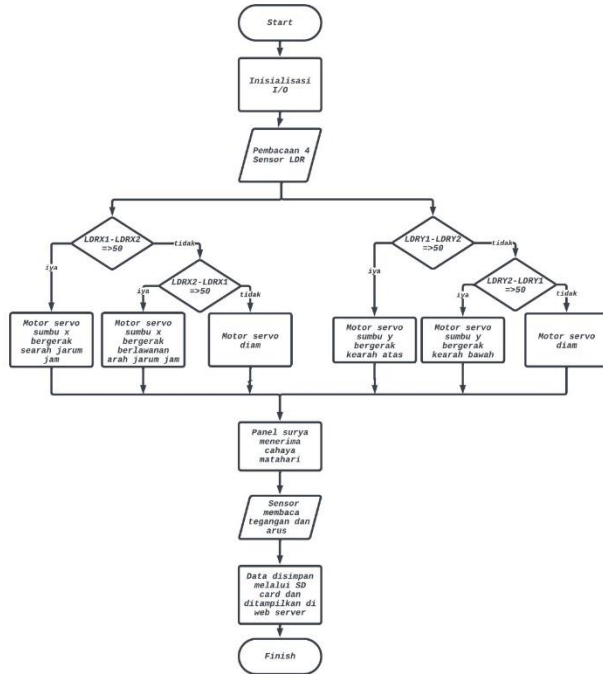
sistem. Perbedaan dari usulan sebelumnya terletak pada arah atau sumbu, dimana pada usulan satu hanya *single axis* sedangkan pada usulan ini menggunakan *dual axis*.

3.2.1 Desain Sistem 2

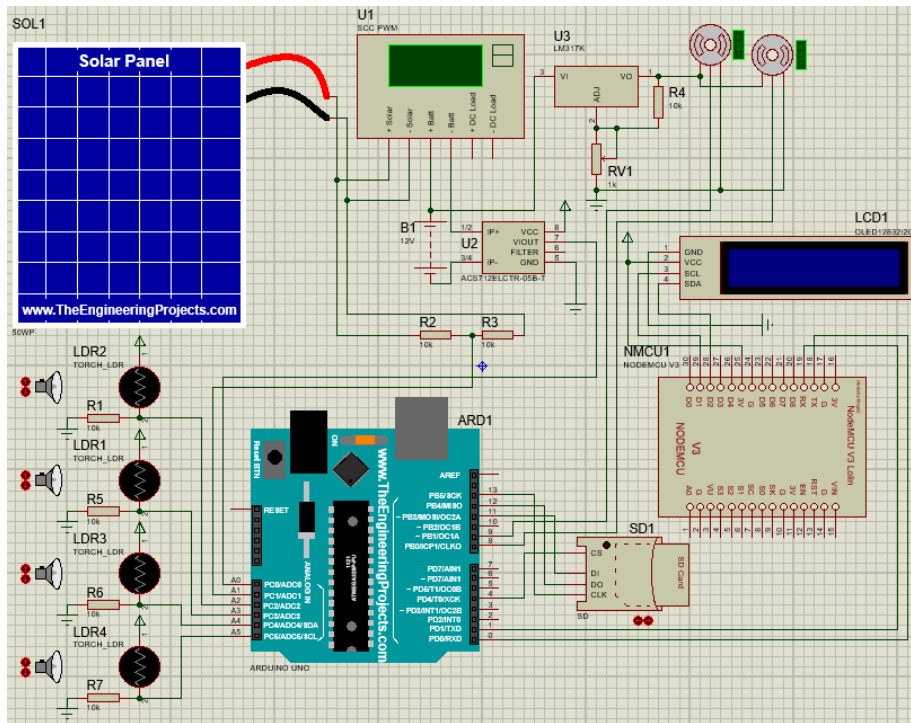
Usulan desain sistem *Solar Tracking Automatic Dual Axis 1 (STADA1)* menggabungkan berbagai komponen untuk meningkatkan efisiensi panel surya. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai otak utama, yang tidak hanya memproses data input dari *Light Dependent Resistor (LDR)* untuk pembacaan arah dan intensitas cahaya matahari yang akurat, tetapi juga berfungsi sebagai *data logger* dengan sensor arus dan tegangan. Komunikasi dengan pengguna dilakukan melalui ESP32, memberikan antarmuka yang mudah diakses. Motor servo bertanggung jawab sebagai aktuator untuk menggerakkan panel surya secara otomatis sesuai dengan waktu perubahan posisi matahari. Sebagai sumber daya, baterai digunakan untuk penyimpanan energi, memberikan keandalan operasional bahkan ketika sumber listrik eksternal terputus. Sistem ini juga dilengkapi dengan *Solar Charge Controller (SCC)* untuk mengatur pengisian baterai dengan efisien dan *SD Card* untuk menyimpan data keluaran daya panel surya. Kerangka mekanis terbuat dari besi baja ringan, memberikan kekuatan struktural, sementara akrilik berfungsi sebagai penutup *data logger* yang melindungi komponen dari kondisi lingkungan yang berubah – ubah. Semua komponen yang kompleks ini disatukan dalam suatu *enclosure* yang kokoh dan tahan terhadap cuaca serta kondisi lingkungan yang beragam.



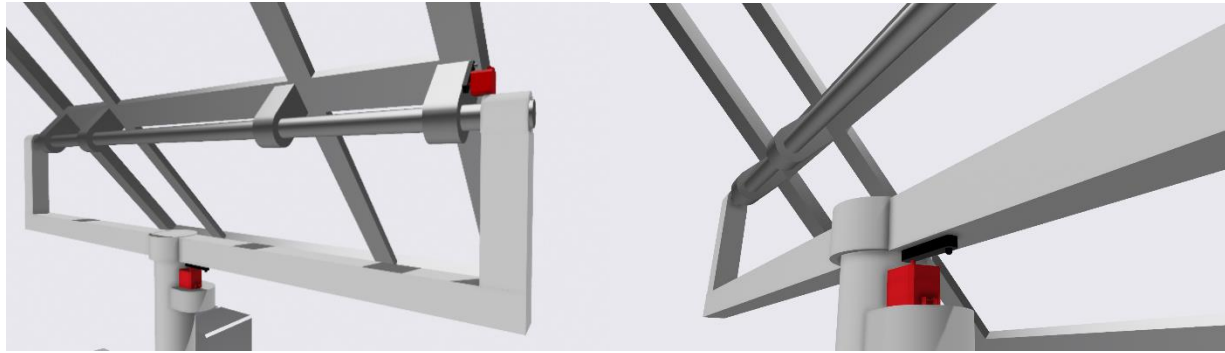
Gambar 3.6 Diagram blok sistem usulan 2



Gambar 3.7 Diagram alur desain usulan 2



Gambar 3.8 Desain elektronis usulan 2



Gambar 3.9 Desain mekanis usulan 2

Untuk dapat memenuhi usulan sistem tersebut, maka diperlukan inventarisasi kebutuhan sistem perangkat keras. Tabel 3.3 memperlihatkan kebutuhan sistem sesuai usulan dan spesifikasi yang dibutuhkan.

Tabel 3.3 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras usulan 2

No	Nama Alat	Keterangan
1	Desain kerangka	<p>Kerangka Mekanis: Dibuat sebagai tempat dudukan yang menopang semua komponen dan alat serta memungkinkan terjadinya pergerakan tracking mekanis panel surya secara efisien. Kerangka mekanis ini tersusun dari beberapa besi dan kombinasi gear.</p> <p>Cover Box: Dibuat untuk menjadi tempat mounting alat (sistem yang tidak boleh terkena panas berlebih dan air) yang telah dirancang agar terhindar dari terik matahari dan hujan. Bagian ini dibuat dari bahan filamen 3D printing maupun bahan sejenis.</p> <p>Box Panel / <i>Enclosure</i>: Dibuat untuk menjadi tempat komponen sistem seperti baterai, <i>solar charge controller</i> (scc), <i>data logger</i>, dan inverter. Bahan yang digunakan yaitu polyester dengan <i>base plate metal</i>.</p>
2	Modul Sensor	<p>LDR: sensor ini merupakan komponen elektronik yang berubah resistansinya sebagai respons terhadap perubahan intensitas cahaya. Hal ini menunjukkan LDR dapat digunakan sebagai sarana untuk mendeteksi tingkat intensitas cahaya matahari karena kelinierannya terhadap perubahan cahaya.</p>
2	Kontroler dan Komunikasi User	<p>Arduino Uno: Digunakan untuk pengolahan data yang baik sehingga dapat digunakan dalam upaya mengatur kinerja sistem berdasarkan pemrosesan data yang digunakan. Dalam kasus ini untuk mengatur pergerakan panel surya berdasarkan data terbaca dari sensor.</p>

No	Nama Alat	Keterangan
		<p>ESP 32: Mikrokontroler ini dilengkapi dengan banyak fitur diantaranya bluetooth dan wifi yang memungkinkan transferring data daya keluaran panel surya dari sistem kepada user dapat dilakukan melalui internet.</p> <p><i>Solar Charge Controler (SCC):</i> Digunakan untuk membantu proses penyimpanan daya dari panel surya menuju baterai. Bagaian ini berperan penting untuk memaksimalkan proses penyimpanan daya yang sangat berpengaruh pada usia baterai.</p>
3	Motor penggerak	Motor Servo: bagian yang memiliki torsi cukup dan pergerakan yang akurat sehingga memungkinkan tracking panel surya secara responsif dengan beban sedang.
4	Penyimpanan	<p>Baterai: Digunakan sebagai sarana untuk menyimpan daya keluaran dari panel surya yang nantinya daya tersimpan tersebut dapat digunakan untuk aplikasi lainnya.</p> <p><i>SD Card:</i> Digunakan sebagai sarana penyimpanan data arus dan tegangan yang dirubah menjadi daya melalui proses dari controler berdasar hasil baca sensor arus dan tegangan yang membaca dari panel surya secara langsung.</p>

3.2.2 Rencana Anggaran Desain 2

Tabel 3.4 merupakan ringkasan perencanaan anggaran untuk usulan solusi kedua. Tabel 3.4 memberikan perkiraan biaya untuk komponen-komponen yang diperlukan sepanjang tahapan perencanaan hingga implementasi dengan tujuan memastikan alokasi dana yang tepat serta efisien.

Tabel 3.4 Rencana anggaran pengembangan sistem 2

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	Panel Surya 50 Wp 17.8V 2.81A	Pcs	Rp. 335.000, -	1	Rp. 335.000, -
2	Modul sensor LDR	Pcs	Rp. 10.000, -	4	Rp. 40.000, -
3	ESP 32	Pcs	Rp. 60.000, -	1	Rp. 60.000, -
4	Arduino UNO	Pcs	Rp. 70.000, -	1	Rp. 70.000, -
5	Sensor Arus Acs712	Pcs	Rp. 27.000, -	1	Rp. 27.000, -
6	Motor Servo torsi 25 kg	Pcs	Rp. 186.000,-	2	Rp. 372.000, -
7	Baterai 12V 9Ah	Pcs	Rp. 130.000, -	1	Rp. 130.000, -
8	Box Panel	Pcs	Rp. 270.000	1	Rp. 270.000,-

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
9	SCC PWM	Pcs	Rp. 40.000	1	Rp.40.000,-
10	Besi dan Las Kerangka	Paket	Rp. 200.000, -	1	Rp. 200.000, -
11	Kabel dan peralatan solder	Paket	Rp. 200.000, -	1	Rp. 200.000, -
12	Lain-lain	-	Rp. 100.000, -	1	Rp. 100.000, -
Total Belanja					Rp. 1.844.000, -

3.2.3 Analisis Risiko Desain

Salah satu risiko dalam penggunaan *Light Dependent Resistor* (LDR) adalah kemungkinan terjadinya ketidakakuratan dalam pelacakan posisi matahari. Jika LDR memberikan data yang tidak akurat atau bermasalah, motor servo mungkin akan merespons secara tidak benar. Hal tersebut dapat menyebabkan motor servo bergerak melebihi batas yang diinginkan, terdapat potensi risiko seperti kemungkinan kerusakan atau patahnya penahan pada motor servo yang bertanggung jawab mengendalikan gerak panel surya. *Solar tracking* yang bergantung pada LDR juga menghadapi risiko ketergantungan pada ketersediaan matahari. Cuaca buruk atau keadaan lingkungan tertentu yang membatasi intensitas cahaya matahari dapat mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Selain risiko kesalahan baca data, ada pula potensi risiko terkait dengan kegagalan komunikasi dalam sistem jaringan. Kegagalan ini dapat disebabkan oleh terputusnya suplai daya.

3.2.4 Pengukuran Performa

Performa yang diukur dalam perancangan usulan ini yaitu seberapa besar energi yang dihasilkan setelah dikurangi konsumsi energi dari beban. Dalam kasus ini beban yang digunakan adalah 1 baterai dan 2 motor servo. Pengukuran dilakukan pada kondisi *loop* tertutup. Untuk pengukuran daya yang dihasilkan dari panel surya dilakukan dengan bantuan *data logger*. Adapun perhitungan energi yang dihasilkan dilakukan dengan mengalikan total arus dan total tegangan dalam kurun waktu sehari yang tersimpan dalam *data logger*. Sedangkan untuk pengukuran beban dilakukan dengan menggunakan multimeter yang dihubungkan pada rangkaian beban guna mengukur arus dan tegangannya yang kemudian akan dikalikan dengan lamanya durasi

penggunaan beban. Berdasarkan perkiraan yang dilakukan, penggunaan *tracking* pada sistem dua sumbu atau *double axis* dinilai cukup efisien dibanding sistem *tracking single axis*.

3.3 Usulan Solusi 3 : *Solar Tracking Automatic Dual Axis 2 (STADA2) Menggunakan Motor Power window*

STADA2 merupakan suatu implementasi perancangan sistem tracking panel surya secara otomatis secara dua sumbu yaitu dari ke utara atau keselatan dan dari timur ke barat. Sistem ini tersusun dari beberapa komponen utama yaitu panel surya sebagai penerima cahaya matahari, 4 sensor *Light Dependent Resistor (LDR)* sebagai pembacaan intensitas cahaya matahari, motor *Power window* sebagai penggerak panel surya, dan kontroler yang berfungsi mengatur alur kerja sistem baik secara *offline* maupun secara *online*, serta *SD Card* yang berfungsi untuk menyimpan data daya keluaran panel surya.

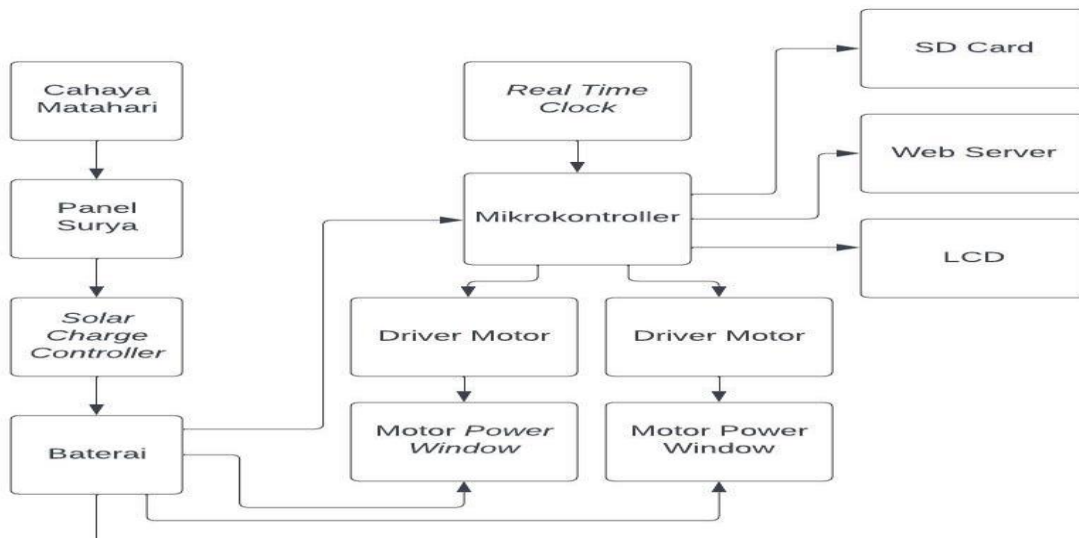
Penggunaan *Dual Axis* pada STADA2 menjadikan sistem ini lebih handal dan tentunya akan menjadikan efisiensi daya keluaran lebih baik dari pada tanpa *tracking* ataupun *single axis*. pasalnya *tracking* dengan *dual axis* tentu akan menjadikan panel surya dapat menerima cahaya matahari secara akurat dan presisi sehingga daya keluaran yang dihasilkan akan jauh lebih besar. Selain itu penggunaan *Internet of Things* memudahkan pengguna dalam memantau kinerja dan hasil keluaran sistem.

Perbedaan dari usulan sebelumnya terletak pada arah atau sumbu, dimana pada usulan 1 hanya *single axis* sedangkan pada usulan ini menggunakan *dual Axis*, dan perbedaan terhadap usulan kedua yaitu terletak pada motor yang digunakan, pada usulan kedua menggunakan motor servo sedangkan pada usulan ketiga menggunakan motor *power window*.

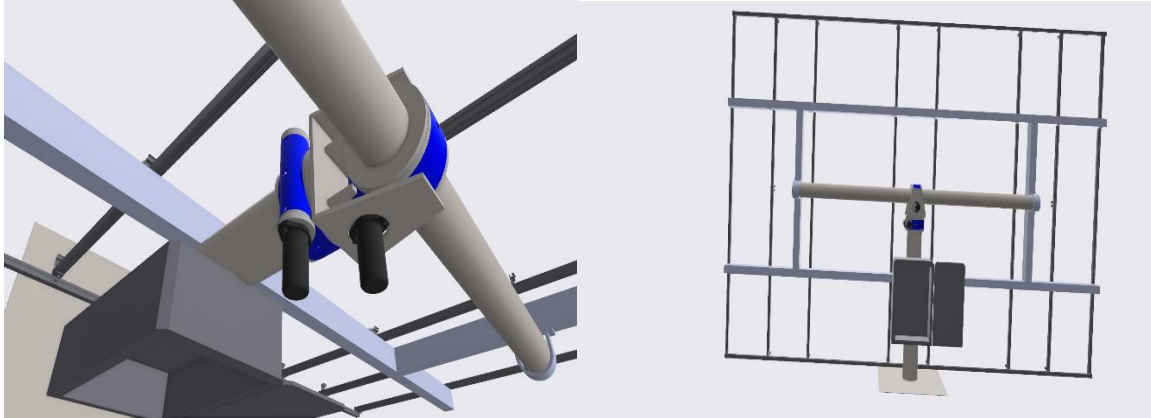
3.3.1 Desain Sistem 3

Solar tracking Automatic Dual Axis 2 (STADA2) menggunakan dua mikrokontroler yang dikomunikasikan secara serial. Keduanya yaitu arduino uno dan ESP 32. Arduino uno digunakan sebagai mikrokontroler utama yang mengatur kinerja sistem termasuk pengolahan dan pemrosesan data, sedangkan ESP 32 sebagai tambahan kekurangan pin sekaligus modul wifi yang berguna sebagai sarana pengiriman data melalui internet.

Arduino Uno akan mengolah data intensitas cahaya matahari terbaik berdasarkan pembacaan empat sensor LDR. Nantinya data tersebut akan digunakan oleh Arduino Uno sebagai acuan untuk memerintahkan motor mana yang akan bergerak serta seberapa besar pergerakan dalam upaya *tracking* panel surya. Ketika *tracking* telah sesuai dengan posisi intensitas cahaya terbaik maka arduino akan memerintahkan motor untuk berhenti. Disaat waktu yang bersamaan panel surya menerima cahaya matahari yang kemudian daya keluarannya akan mulai disimpan per sepuluh menit ke *SD card* dan juga dikirimkan dengan bantuan ESP 32 melalui internet ke ponsel *user* secara *real-time*. Sistem ini diintegrasikan dengan sensor, mikrokontroler, motor penggerak, serta koneksi internet yang menjadikan sistem dapat memaksimalkan daya keluaran panel surya dengan baik serta mempermudah pengguna dalam monitoring sistem dan daya keluarannya.



Gambar 3.10 Diagram blok sistem usulan 3



Gambar 3.13 Desain mekanis usulan 3

Untuk dapat memenuhi usulan sistem tersebut, maka diperlukan inventarisasi kebutuhan sistem perangkat keras. Tabel 3.5 memperlihatkan kebutuhan sistem sesuai usulan dan spesifikasi yang dibutuhkan.

Tabel 3.5 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras usulan 3

No	Nama Alat	Keterangan
1	Desain kerangka	<p>Kerangka Mekanis: Dibuat sebagai tempat dudukan yang menopang semua komponen dan alat serta memungkinkan terjadinya pergerakan tracking mekanis panel surya secara efisien. Kerangka mekanis ini tersusun dari beberapa besi dan kombinasi gear.</p> <p>Cover Box: Dibuat untuk menjadi tempat mounting alat (sistem yang tidak boleh terkena panas berlebih dan air) yang telah dirancang agar terhindar dari terik matahari dan hujan. Bagian ini dibuat dari bahan filamen 3D printing maupun bahan sejenis.</p> <p>Box Panel / <i>Enclosure</i>: Dibuat untuk menjadi tempat komponen sistem seperti baterai, <i>Solar Charge Controller (SCC)</i>, <i>data logger</i>, dan inverter. Bahan yang digunakan yaitu polyester dengan <i>base plate metal</i>.</p>
2	Modul Sensor	LDR: sensor ini merupakan komponen elektronik yang berubah resistansinya sebagai respons terhadap perubahan intensitas cahaya. Hal ini menunjukkan LDR dapat digunakan sebagai sarana untuk mendeteksi tingkat intensitas cahaya matahari karena kelinierannya terhadap perubahan cahaya.
2	Kontroler dan Komunikasi User	Arduino Uno: Digunakan untuk pengolahan data yang baik sehingga dapat digunakan dalam upaya mengatur kinerja sistem berdasarkan pemrosesan data yang digunakan. Dalam kasus ini untuk mengatur pergerakan panel surya berdasarkan data terbaca dari sensor.

No	Nama Alat	Keterangan
		<p>ESP 32: Mikrokontroler ini dilengkapi dengan banyak fitur diantaranya bluetooth dan wifi yang memungkinkan transferring data daya keluaran panel surya dari sistem kepada user dapat dilakukan melalui internet.</p> <p><i>Solar Charge Controler (SCC)</i> : Digunakan untuk membantu proses penyimpanan daya dari panel surya menuju baterai. Bagaian ini berperan penting untuk memaksimalkan proses penyimpanan daya yang sangat berpengaruh pada usia baterai.</p>
3	Motor penggerak	Motor <i>Power window</i> : bagian yang memiliki torsi yang besar sehingga memungkinkan tracking panel surya secara responsif meskipun dengan beban yang cukup berat.
4	Penyimpanan	<p>Baterai : Digunakan sebagai sarana untuk menyimpan daya keluaran dari panel surya yang nantinya daya tersimpan tersebut dapat digunakan untuk aplikasi lainnya.</p> <p><i>SD Card</i> : Digunakan sebagai sarana penyimpanan data arus dan tegangan yang dirubah menjadi daya melalui proses dari controler berdasar hasil baca sensor arus dan tegangan yang membaca dari panel surya secara langsung.</p>

3.3.2 Rencana Anggaran Desain 3

Tabel 3.6 merupakan ringkasan perencanaan anggaran untuk usulan solusi kedua. Tabel 3.6 memberikan perkiraan biaya untuk komponen-komponen yang diperlukan sepanjang tahapan perencanaan hingga implementasi dengan tujuan memastikan alokasi dana yang tepat serta efisien.

Tabel 3.6 Rencana anggaran pengembangan sistem 3

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	Panel Surya 50 Wp 17.8V 2.81A	Pcs	Rp. 335.000, -	1	Rp. 335.000, -
2	Modul sensor LDR	Pcs	Rp. 10.000, -	4	Rp. 40.000, -
3	ESP 32	Pcs	Rp. 60.000, -	1	Rp. 60.000, -
4	Arduino UNO	Pcs	Rp. 70.000, -	1	Rp. 70.000, -
5	Sensor Arus Acs712	Pcs	Rp. 27.000, -	1	Rp. 27.000, -
4	Motor <i>Power window</i>	Pcs	Rp. 120.000, -	2	Rp. 240.000, -
5	Baterai 12V 7Ah	Pcs	Rp. 130.000, -	1	Rp. 130.000, -
6	Box Panel	Pcs	Rp. 270.000	1	Rp. 270.000,-

7	Driver motor DC	Pcs	Rp. 45.000	1	Rp. 45.000,-
8	Besi dan Las Kerangka	Paket	Rp. 200.000, -	1	Rp. 200.000, -
9	Kabel dan peralatan solder	Paket	Rp. 200.000, -	1	Rp. 200.000, -
12	Lain-lain	-	Rp. 100.000, -	1	Rp. 100.000, -
Total Belanja					Rp. 1.717.000, -

3.3.3 Analisis Risiko Desain

Salah satu risiko yang dalam penggunaan *Light Dependent Resistor* (LDR) adalah kemungkinan terjadinya ketidakakuratan dalam pelacakan posisi matahari. Jika LDR memberikan data yang tidak akurat atau bermasalah, motor *power window* mungkin akan merespons secara tidak benar. Ditambah motor *power window* memiliki tingkat presisi yang rendah dalam merespon hasil pelacakan posisi matahari dari sensor LDR yang menyebabkan *tracking* panel surya kurang sesuai dan berakibat kurangnya efisiensi daya yang dihasilkan panel surya. *Solar tracking* yang bergantung pada LDR juga menghadapi resiko ketergantungan pada ketersediaan matahari. Cuaca buruk atau keadaan lingkungan tertentu yang membatasi intensitas cahaya matahari dapat mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Selain risiko kesalahan baca data, ada pula potensi risiko terkait dengan kegagalan komunikasi dalam sistem jaringan. Kegagalan ini dapat disebabkan oleh terputusnya suplai daya.

3.3.4 Pengukuran Performa

Performa yang diukur dalam perancangan usulan ini yaitu seberapa besar energi yang dihasilkan setelah dikurangi konsumsi energi dari beban. Dalam kasus ini beban yang digunakan adalah 1 baterai dan 2 motor *power window*. Pengukuran dilakukan pada kondisi loop tertutup. Untuk pengukuran daya yang dihasilkan dari panel surya dilakukan dengan bantuan data logger. Adapun perhitungan energi yang dihasilkan dilakukan dengan mengalikan total arus dan total tegangan dalam kurun waktu sehari yang tersimpan dalam *data logger*. Sedangkan untuk pengukuran beban dilakukan dengan menggunakan multimeter yang dihubungkan pada rangkaian beban guna mengukur arus dan tegangannya yang kemudian akan dikalikan dengan lamanya durasi penggunaan beban. Berdasarkan perkiraan yang dilakukan, penggunaan *tracking* pada sistem dua sumbu atau *double axis* dinilai cukup efisien dibanding sistem *tracking single axis*.

3.4 Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik

Digunakan metode *Decision Matrix Analysis* yang menggambarkan kriteria yang relevan, memberi bobot pada setiap kriteria dan mengevaluasi setiap alternatif solusi atau desain secara matematis untuk pemilihan solusi atau desain terbaik yang paling sesuai dengan kebutuhan proyek. Tabel 3.7 merupakan analisis pada setiap kriteria untuk penentuan usulan terbaik.

Tabel 3.7 Analisis kriteria solusi *solar tracking* otomatis

Kriteria	Bobot	STASA	STADA 1	STADA 2
Akurasi Sensor	5	2	5	5
Efisiensi	5	3	5	4
Kemudahan implementasi	5	5	4	3
Tingkat Presisi aktuator	5	5	5	3
Biaya	5	5	3	4
Total		20	22	20

Berdasarkan analisis kriteria di setiap solusi ditentukan usulan solusi atau desain terbaik yaitu pada STADA 1. Pada usulan solusi kedua atau STADA1 dengan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) memiliki kelebihan *tracking* yang lebih akurat dibanding penggunaan modul RTC pada usulan pertama dan pergerakan aktuatornya yang berupa motor servo yang lebih presisi dibanding motor *power window*. Walaupun dalam aspek biaya usulan kedua lebih mahal dibanding usulan yang lainnya, usulan kedua dinilai memiliki kelebihan yang signifikan dibanding usulan yang lain dan biaya yang dikeluarkan dinilai tidak terlalu jauh dengan usulan satu dan dua.

3.5 Gantt Chart

Tabel 3.8 merupakan Gantt *chart* kegiatan tugas akhir mulai dari survei hingga pelaksanaan expo.

Tabel 3.8 Gantt *chart* pelaksanaan *Capstone Project*

No.	Kegiatan/Capaian	Bulan ke -											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Survei dan identifikasi permasalahan	R Ro											
2	Mencari literatur dan informasi untuk kebutuhan dan spesifikasi sistem	R Ro											
3	Mengumpulkan seluruh ide solusi dan finalisasi usulan perancangan sistem beserta manajemen dan rancangan belanja		R Ro	R Ro									
4	Pengumpulan proposal Tugas Akhir 1/ <i>Capstone Project</i> dan seminar				R Ro								
5	Pembelian alat dan bahan					R Ro	R Ro						
6	Perakitan sistem sesuai proposal						R Ro	R Ro	R Ro	R Ro			
7	Testing dan Validasi							R Ro	R Ro	R Ro			
8	Penulisan Laporan							R Ro	R Ro	R Ro			
8	Expo dan pengumpulan laporan akhir										R Ro		

Ket. : PIC – *Person in Charge* (Pihak yang bertanggung untuk kegiatan tersebut) R : Ryan, RO : Royan

3.6 Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1

Tabel 3.9 merupakan ringkasan aktivitas pelaksanaan terealisasi. Aktivitas dimulai dengan pada tanggal 4 september 2023 hingga 13 November 2023.

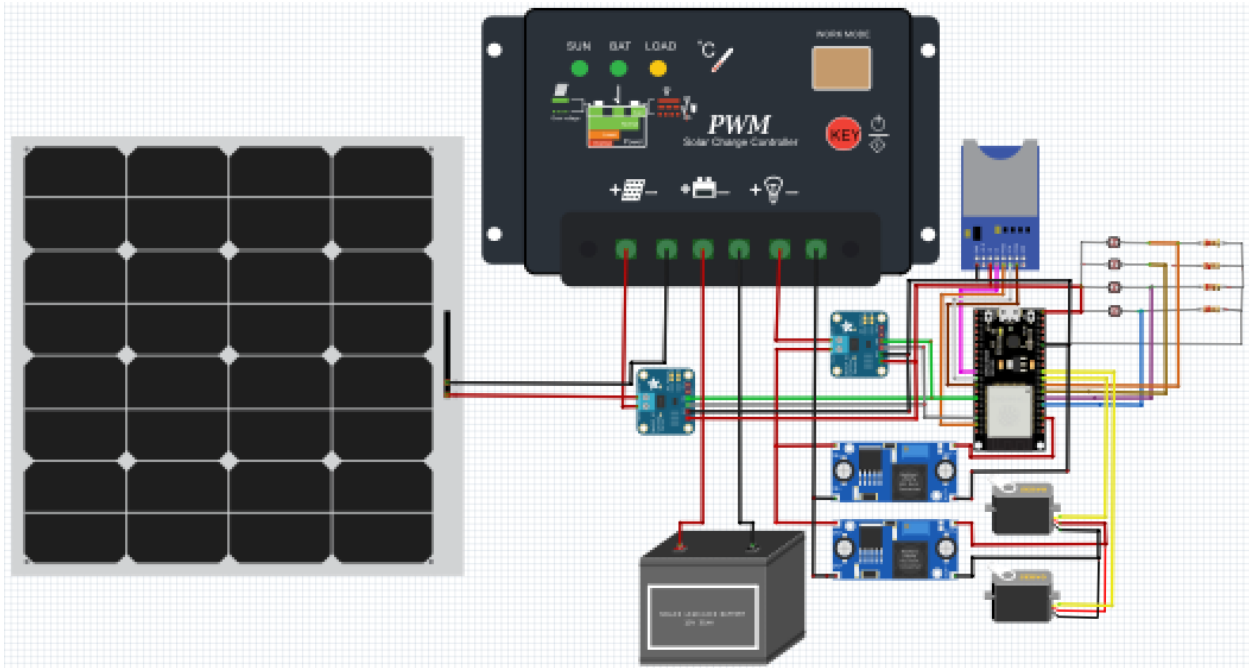
Tabel 3.9 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 1

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	Senin, 4 September 2023, 4 hari	Survei lokasi sekaligus menanyai keluhan dan harapan mitra	Ryan, Royan
2	Sabtu, 9 September 2023, 3 hari	Merumuskan dan menuliskan latar belakang, rumusan, dan tujuan pembuatan	Ryan, Royan
3	Rabu, 13 September 2023, 15 hari	Mencari sumber informasi baik dari jurnal maupun dari web serta narasumber terkait.	Ryan, Royan
4	Senin, 25 September 2023, 7 hari	Membuat dan menuliskan batasan masalah dan batasan realistis.	Ryan, Royan
5	Kamis, 28 September 2023, 5 hari	Menuliskan BAB 2	Ryan, Royan
6	Sabtu, 14 Oktober 2023, 25 hari	Membuat berbagai ide solusi yang mungkin direalisasikan	Ryan, Royan

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
7	jumat, 4 November 2023, 8 Hari	Merancang rencana anggaran biaya yang dibutuhkan	Ryan, Royan
8	Minggu, 13 November 2023, 10 hari	Menulis bab 3	Ryan, Royan

BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN

4.1 Hasil Rancangan Sistem

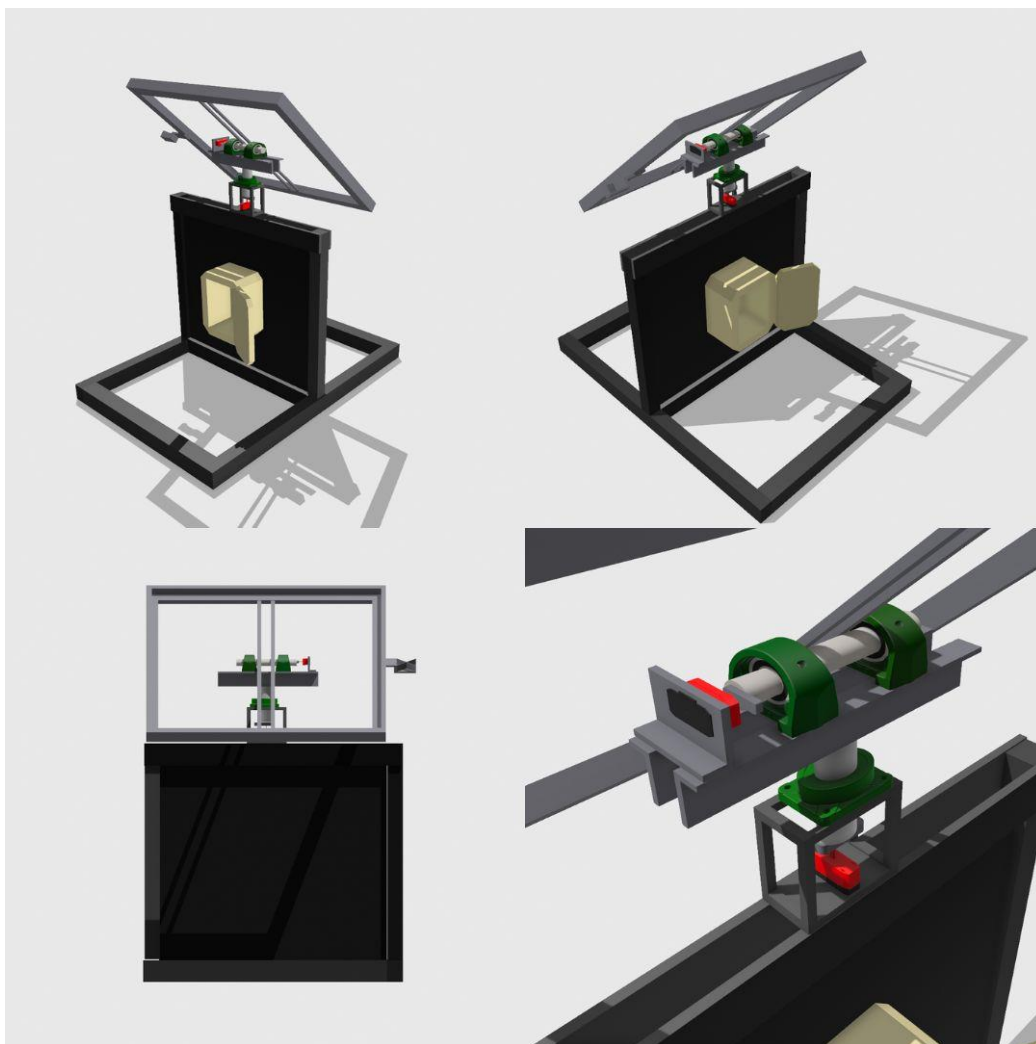


Gambar 4.1 Rangkaian elektronik hasil rancangan sistem

Gambar 4.1 merupakan rangkaian elektronik dari STADA. Pada rangkaian tersebut komponen yang digunakan meliputi panel surya dengan kapasitas 50 WP, *Solar Charge Controller* (SCC) berjenis *Pulse Width Modulation* (PWM) sebagai kontroler output panel surya ke beban. Mikrokontroler ESP 32 berfungsi untuk menerima data sensor *Light Dependant Resistor* (LDR) dan sensor daya serta digunakan untuk upload data monitoring ke aplikasi Blynk. Hasil dari komparasi empat buah sensor LDR nantinya digunakan untuk menggerakkan aktuator berupa dua buah motor servo dengan spesifikasi torsi sebesar 30kg. Pada usulan solusi terpilih pada proposal sebelumnya diputuskan bahwa sensor yang digunakan adalah sensor ACS 712 sebagai sensor arus dan rangkaian pembagi tegangan sebagai sensor tegangan.

Dengan pertimbangan akan kelebihan dan kekurangan sensor diputuskan kembali bahwa dilakukan penggantian komponen khususnya untuk sensor arus dan sensor tegangan. Sensor daya INA 219 memiliki pembacaan data yang lebih valid dari dua sensor yang digunakan sebelumnya,

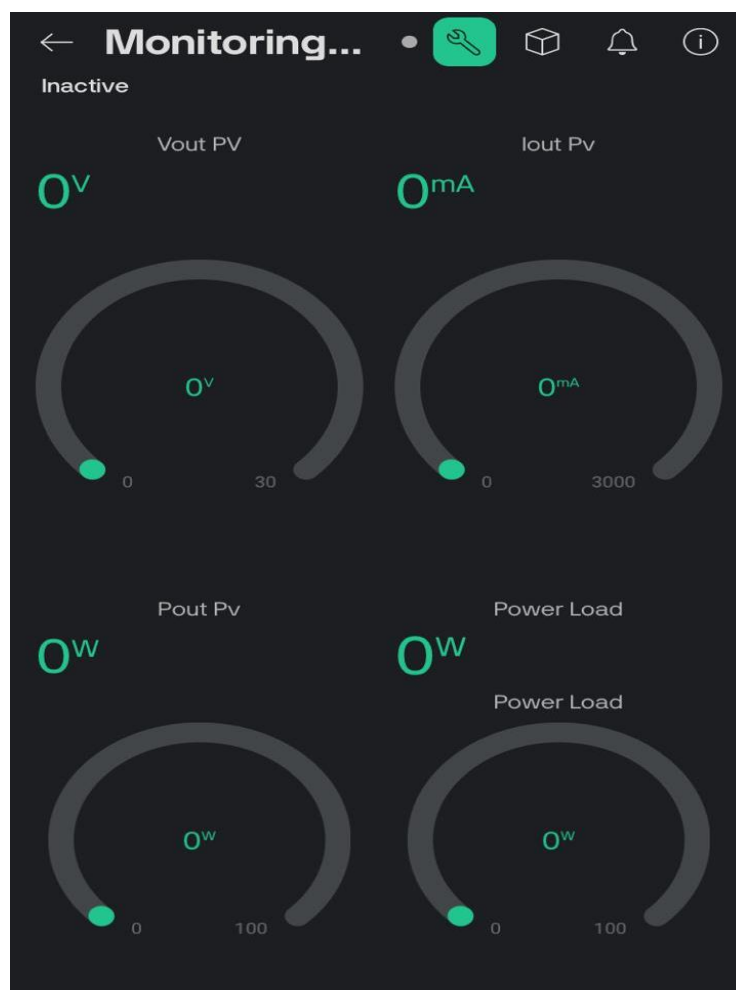
juga fitur yang ditawarkan sensor tersebut lebih banyak. Sensor daya INA 219 digunakan untuk membaca arus, tegangan, dan daya keluaran panel surya. Untuk beban yang digunakan adalah baterai 12V dengan kapasitas 9Ah. Fungsi dari baterai pada sistem yaitu sebagai beban yang nantinya disuplai energi atau daya oleh panel surya, juga baterai digunakan untuk suplai daya SCC dan beban lainnya seperti mikrokontroler ESP 32 dan aktuator motor servo. Suplai daya yang sesuai diperlukan untuk menghindari resiko kerusakan, sehingga digunakan modul penurun tegangan (*step down*) untuk suplai daya mikrokontroler dan motor servo. Sistem juga dilengkapi dengan Modul *SD Card* yang nantinya digunakan untuk menyimpan data keluaran panel surya.



Gambar 4.2 Desain final Solar Tracking Automatic Dual Axis (STADA)

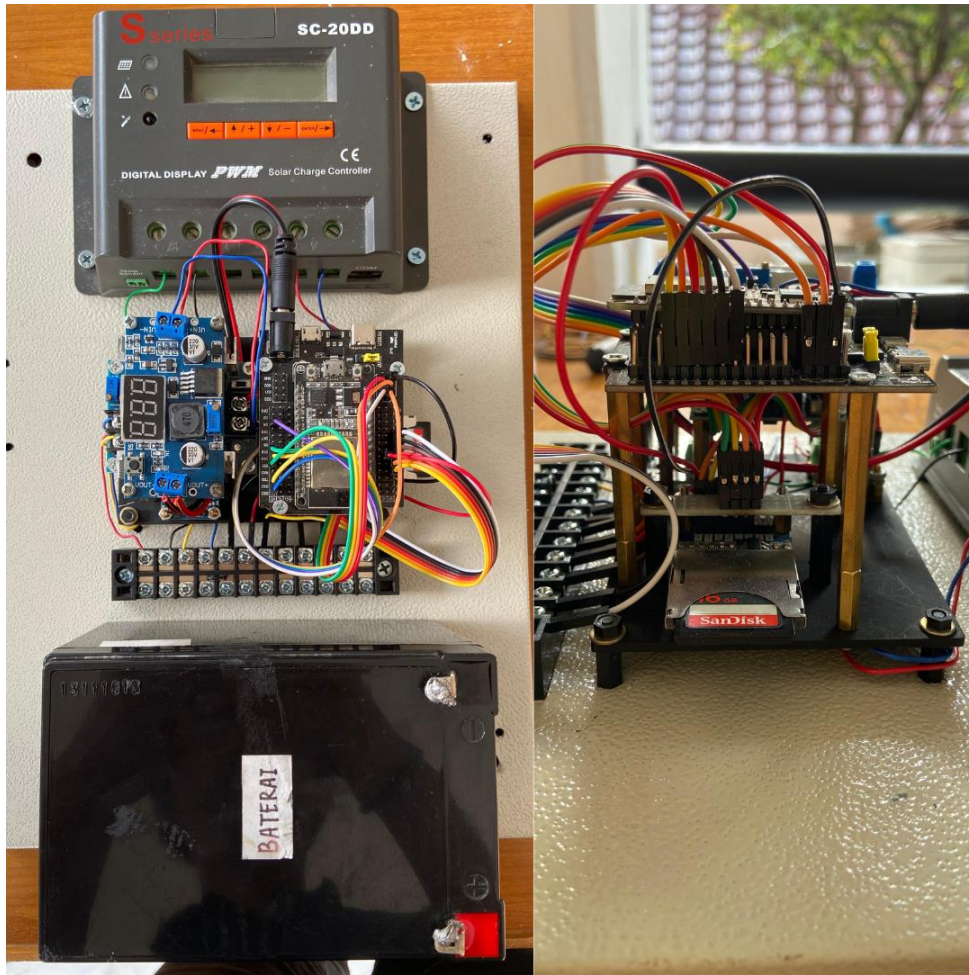
Pada gambar 4.2 ditampilkan desain yang telah direalisasikan dari *Solar Tracking Automatic Dual Axis* (STADA), di mana kerangka mekanis dirancang sebagai penopang yang

mendukung semua komponen dan perangkat serta memungkinkan terjadinya pergerakan pelacakan panel surya secara mekanis. Untuk pergerakan motor servo pada setiap sumbu, disertai dengan *pillow block* yang dilengkapi dengan poros besi guna memfasilitasi pergerakan panel surya. Penggunaan *pillow block* dan poros besi tidak hanya mendukung pergerakan yang mulus tetapi juga meningkatkan umur pakai sistem *tracking*. Pada salah satu sisi panel surya, terdapat tempat untuk empat sensor LDR yang masing-masing sensor tersebut dibatasi oleh sekat yang terbuat dari besi tipis. Di bagian depan, terdapat kotak panel yang berfungsi untuk menyimpan dan melindungi komponen *data logger*.



Gambar 4.3 *Interface* monitoring STADA melalui aplikasi Blynk

Pada Gambar 4.3 tertera tampilan *Interface* monitoring STADA melalui aplikasi Blynk. menu yang telah dibuat menampilkan empat data keluaran sensor yaitu tegangan keluaran, arus keluaran, daya keluaran panel surya dan daya yang dipakai oleh beban.



Gambar 4.4 Hasil akhir rancangan elektronik

Gambar 4.4 adalah hasil akhir untuk rancangan elektronik STADA, sesuai dengan gambar 4.1. *Solar Charge controller* yang digunakan berjenis *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan enam pin *input/output*. Di bagian mikrokontroler ESP 32 ditambahkan *board expansion* untuk menambah jumlah pin mikrokontroler. Dua modul *step down* memiliki spesifikasi yang berbeda yaitu 3A untuk mikrokontroler dan 20A untuk motor servo. Baterai yang digunakan memiliki spesifikasi 12V dengan kapasitas 12Ah. Untuk penyimpanan data digunakan *SD Card* dengan kapasitas 16 GB.



Gambar 4.5 Hasil akhir desain mekanis sistem *tracking*

Gambar 4.5 merupakan implementasi desain mekanis yang telah dibuat, sesuai dengan rancangan bahwa perputaran atau pergerakan tracking digunakan motor servo yang dibantu oleh *pillow block* dan as besi. Bagian depan terpasang kotak panel yang berfungsi sebagai tempat komponen *data logger*, SCC dan baterai. empat dudukan LDR terpasang di salah satu sisi panel, dengan panjang yang dapat disesuaikan sesuai keinginan pengguna.

4.2 Pengukuran Kinerja dan Hasil Perancangan

Dalam melakukan perancangan, perlu dilakukan pengukuran kinerja untuk mengetahui performa alat yang telah dirancang. Pengukuran kinerja ditentukan berdasarkan tahapan-tahapan pengerjaan yang dilakukan dari awal hingga akhir.

Parameter yang diukur meliputi :

1. Akurasi Sensor INA 219.
2. Efisiensi hasil tracking terhadap output.
3. Lama charging baterai.
4. Konsumsi energi *tracker*.

Pada pengukuran akurasi sensor daya diukur melalui perbandingan antara hasil pengukuran sensor INA 219 dan multimeter yang nantinya diambil beberapa data dari masing-masing pengukuran. Data-data yang telah diperoleh dibandingkan sehingga didapati akurasi sensor. Akurasi yang diharapkan dari sensor adalah minimal 95% atau maksimal tingkat kesalahan atau *error* sebesar 5%. Adapun langkah-langkahnya diawali dengan menghubungkan pin *Voltage common collector* (VCC), *ground* (GND), *Serial Data Line* (SDA), *Serial Clock Line* (SCL) pada sensor INA 219 secara berurutan ke pin 3.3V, *ground* (GND), *General Purpose Input/Output* (GPIO) 21, *General Purpose Input/Output* (GPIO) 22 pada ESP 32 yang telah diinputkan kode pembacaan sensor INA 219. Langkah berikutnya yaitu menghubungkan rangkaian beban secara serial dengan sensor INA 219. Pada kasus ini beban yang diukur berupa motor pompa dan baterai 12V. Dimana pin *Voltage Input +* (Vin+) INA 219 dihubungkan ke positif baterai 12V, *Voltage Input -* (Vin) INA 219 ke positif motor pompa, sementara negatif motor pompa dihubungkan dengan negatif baterai 12V. Adapun penggunaan multimeter disesuaikan dengan parameter yang diukur. Pada pengukuran arus maka multimeter dihubungkan serial dengan rangkaian beban, namun ketika mengukur tegangan maka multimeter dihubungkan secara paralel dengan beban.

Parameter yang diukur selanjutnya adalah nilai efisiensi konversi energi yang dihasilkan oleh panel surya dengan sistem *tracking*. Efisiensi ini dihitung berdasarkan data tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya yang diperoleh menggunakan *data logger*. Data yang dikumpulkan oleh *data logger* merupakan data keluaran panel surya setiap sepuluh menit. Selanjutnya, data tersebut dibandingkan dengan data daya keluaran panel surya statis untuk menentukan nilai efisiensi konversi energi yang dihasilkan dari sistem *tracking*. Pada pengukuran keluaran daya *Solar Tracking Dual Axis* (STADA) digunakan INA 219 sebagai sensor daya, sedangkan untuk panel surya statis digunakan rangkaian pembagi tegangan untuk mengukur tegangan dan sensor

ACS 712 untuk pengukur arus. Keluaran tegangan dan arus nantinya dikalikan untuk mendapatkan hasil pengukuran daya.

Pengukuran parameter berikutnya meliputi lama pengisian baterai oleh panel surya dengan sistem *tracking*. Langkah yang dilakukan adalah dengan menyiapkan *stopwatch* atau jam untuk mengukur waktu yang dibutuhkan untuk pengisian baterai. Selanjutnya untuk mengetahui *State of Charge* (SoC) atau presentase kapasitas baterai digunakan *Solar Charge Controller* (SCC) yang telah dilengkapi fitur untuk mengetahui presentase kapasitas baterai. Adapun baterai yang digunakan adalah VRLA 12V dengan kapasitas 12Ah, sedangkan panel surya dan SCC untuk pengisian baterai yaitu panel surya 50 Wp dan SCC berjenis PWM.

Parameter keempat merupakan pengukuran terhadap konsumsi energi yang digunakan untuk menggerakkan aktuator. Digunakan sensor daya INA 219 yang nantinya dipasang di jalur beban SCC. Berikutnya data diambil dalam rentang waktu tertentu untuk mengetahui energi yang digunakan untuk menggerakkan aktuator.

BAB 5. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

5.1 Analisis Hasil

Keberhasilan produk STADA dapat diukur dari tahap implementasi yang berhasil. Pengujian yang akan dilakukan meliputi pengukuran terhadap beberapa parameter seperti kalibrasi sensor LDR, pengukuran *output* daya keluaran panel surya, efisiensi sistem, beserta konsumsi energi yang dikonsumsi *tracker*.

5.1.1 Pengukuran dan Analisis Akurasi Sensor

Pada pengujian kali ini dilakukan kalibrasi sensor pada sistem *Solar Tracking Automatic Dual Axis*) STADA, meliputi pengukuran sensor INA 219. Pengukuran ini dilakukan bertujuan untuk melihat seberapa akurat sensor dalam membaca nilai tegangan, arus, dan daya. Pada pengujian ini diambil beberapa data dari sensor INA 219 yang dihubungkan dengan baterai 12V dan motor pompa sebagai beban. Selanjutnya diambil beberapa sampel data keluaran INA 219 sehingga didapatkan nilai akurasi dan *error*. Berikut merupakan rumus untuk menghitung *akurasi* dan *error* pengukuran beserta rata – rata dari hasil perhitungan keduanya.

$$Akurasi = \left(1 - \left| \frac{Nilai\ terukur - Nilai\ Referensi}{Nilai\ Referensi} \right| \right) \times 100\% \quad (5.1)$$

$$Error = \left(\left| \frac{Nilai\ terukur - Nilai\ Referensi}{Nilai\ Referensi} \right| \right) \times 100\% \quad (5.2)$$

$$Rata - Rata\ Error = \frac{\sum Error}{n} \quad (5.3)$$

$$Rata - Rata\ Akurasi = \frac{\sum Akurasi}{n} \quad (5.4)$$

Pengujian pertama diawali dengan melakukan pengukuran *error* dan akurasi tegangan terbaca oleh sensor INA 219. Berikut adalah hasil pengukuran terhadap nilai tegangan keluaran.

Tabel 5.1 Hasil pengukuran akurasi tegangan

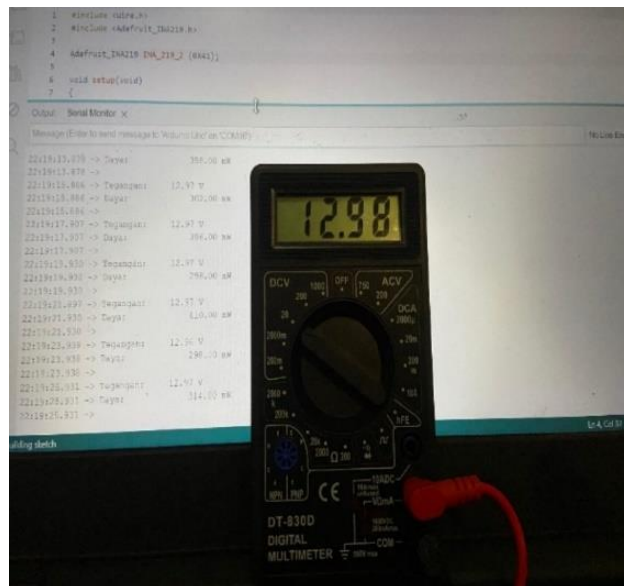
No	Nilai Terukur (V)	Nilai Referensi (V)	<i>Error (%)</i>	Akurasi (%)
1	12,94	12,97	0,23	99,77
2	12,95	12,98	0,23	99,77
3	12,93	12,97	0,23	99,77
4	12,93	12,97	0,23	99,77
5	12,93	12,97	0,23	99,77
6	12,93	12,97	0,23	99,77
7	12,93	12,97	0,23	99,77
8	12,94	12,97	0,23	99,77
9	12,96	12,98	0,07	99,93
10	12,97	12,98	0,07	99,93
Rata - Rata			0,198	99,80

Tabel 5.2 Hasil pengukuran akurasi arus

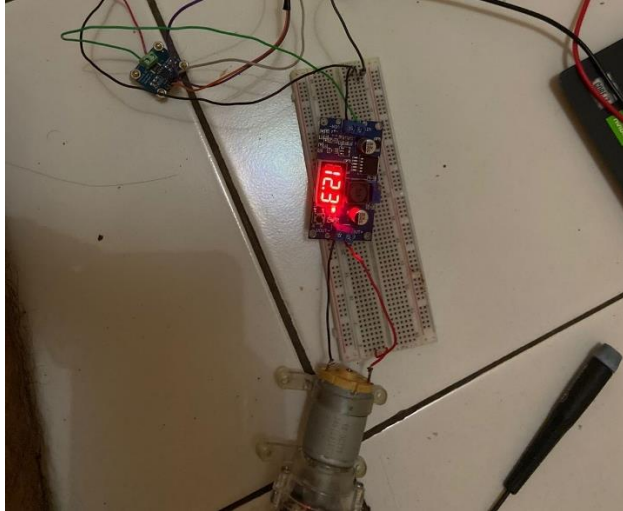
No	Nilai Terukur (mA)	Nilai Referensi (mA)	<i>Error (%)</i>	Akurasi (%)
1	125,8	130	3,23	96,76
2	105,5	110	4,09	95,91
3	130,6	130	0,46	99,64
4	104,1	110	5,36	94,29
5	132	140	5,71	94,29
6	136,6	140	2,42	97,58

No	Nilai Terukur (mA)	Nilai Referensi (mA)	Error (%)	Akurasi (%)
7	95,3	100	4,7	95,3
8	137	140	2,14	97,86
9	147,8	150	1,46	98,54
10	146,1	150	2,6	97,4
Rata - Rata			3,21	96,79

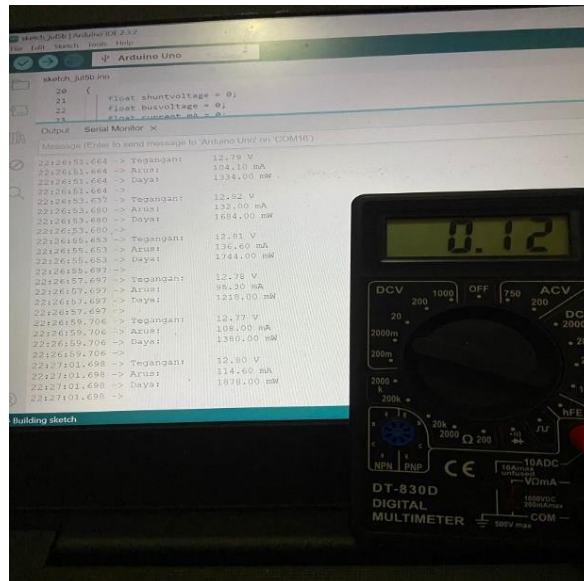
Berdasarkan data pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 didapatkan bahwa hasil akurasi sensor INA 219 mencapai 99,80% ketika pengukuran tegangan, sedangkan pada pengukuran arus didapatkan 96,79%. Pada setiap pengujian dilakukan 10 kali pengujian terhadap tegangan dan arus yang bervariasi pada setiap pengukurannya, berdasarkan pengujian tersebut didapat rata-rata *error* sebesar 0,198% untuk tegangan terbaca, dan 3,21% untuk arus terbaca. Sehingga berdasar hasil pengujian ini diperoleh akurasi sensor dalam mengukur tegangan mencapai 99,80% dan untuk arus sebesar 96,79% yang mana hasil tersebut melebihi akurasi yang diharapkan yaitu 95% dengan *error* maksimal 5%.



Gambar 5.1 Pengujian terhadap pengukuran tegangan terbaca sensor INA 219



Gambar 5.2 Komponen pengujian akurasi sensor INA 219



Gambar 5.3 Pengujian terhadap pengukuran arus terbaca INA219

Gambar 5.1, Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 merupakan sampel pengujian akurasi terhadap sensor INA219, yang mana ditampilkan nilai terukur sensor pada serial monitor, sedangkan untuk nilai referensi merupakan nilai terbaca pada multimeter.

5.1.2 Hasil dan Analisis Keluaran Daya *Solar Tracking Dual Axis* (STADA) dan Panel Surya Statis.

Pengujian kedua adalah pengujian terhadap perbandingan efektifitas panel surya menggunakan sistem *tracking dual axis* dengan panel surya statis. Pengujian ini dilakukan dalam

satu hari selama 6 jam dari pukul 09.00 hingga pukul 15.00. Data yang diambil adalah data pengukuran terhadap tegangan, arus dan daya keluaran tiap 10 menit. Adapun hasil peningkatan daya dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\text{Peningkatan Daya} = \frac{\text{Daya Solar Tracker} - \text{Daya Solar Statis}}{\text{Daya Solar Statis}} \times 100\% \quad (5.5)$$

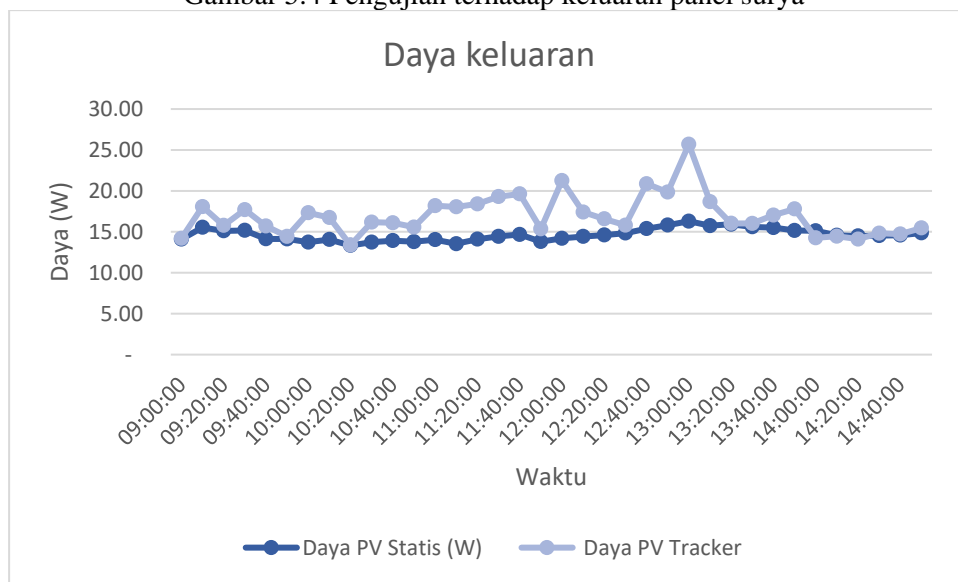
Tabel 5.3 Hasil pengukuran keluaran daya panel surya

Tanggal	Jam(WIB)	Statis			Tracker		
		Arus (mA)	Tegangan (V)	Daya (W)	Arus (mA)	Tegangan (V)	Daya (W)
07/07/2024	09:00:00	908,27	14,20	12,90	923,97	15,07	13,92
07/07/2024	09:10:00	908,14	15,52	14,09	935,23	15,17	14,19
07/07/2024	09:20:00	907,83	17,12	15,54	940,87	19,21	18,07
07/07/2024	09:30:00	897,39	16,84	15,11	845,62	18,66	15,78
07/07/2024	09:40:00	888,12	17,08	15,17	920,67	19,23	17,70
07/07/2024	09:50:00	859,78	16,44	14,13	910,23	17,25	15,70
07/07/2024	10:00:00	840,97	16,80	14,13	848,98	17,01	14,44
07/07/2024	10:10:00	837,59	16,40	13,74	999,32	17,33	17,32
07/07/2024	10:20:00	802,1	17,52	14,05	923,1	18,14	16,75
07/07/2024	10:30:00	797,2	16,72	13,33	810,11	16,51	13,37
07/07/2024	10:40:00	789,32	17,40	13,73	855,66	18,91	16,18
07/07/2024	10:50:00	787,37	17,68	13,92	857,68	18,77	16,10
07/07/2024	11:00:00	783,77	17,60	13,79	859,7	18,11	15,57
07/07/2024	11:10:00	781,39	17,96	14,03	961,73	18,91	18,19
07/07/2024	11:20:00	787,11	17,20	13,54	963,21	18,73	18,04
07/07/2024	11:30:00	784,85	17,96	14,10	965,82	19,06	18,41
07/07/2024	11:40:00	791,74	18,24	14,44	988,91	19,51	19,29
07/07/2024	11:50:00	795,64	18,44	14,67	986,08	19,9	19,62
07/07/2024	12:00:00	819,65	16,84	13,80	891,5	17,22	15,35
07/07/2024	12:10:00	843,14	16,84	14,20	1211,1	17,55	21,25
07/07/2024	12:20:00	844,78	17,08	14,43	956,34	18,2	17,41
07/07/2024	12:30:00	839,19	17,40	14,60	907,41	18,27	16,58
07/07/2024	12:40:00	841,1	17,64	14,84	900,55	17,55	15,80

Tanggal	Jam(WIB)	Statis			Tracker		
		Arus (mA)	Tegangan (V)	Daya (W)	Arus (mA)	Tegangan (V)	Daya (W)
07/07/2024	12:50:00	847,04	18,16	15,38	1123,2	18,58	20,87
07/07/2024	13:00:00	850,5	18,60	15,82	1009,17	19,66	19,84
07/07/2024	13:10:00	852,28	19,12	16,30	1321,34	19,44	25,69
07/07/2024	13:20:00	846,39	18,60	15,74	982,22	19,02	18,68
07/07/2024	13:30:00	845	18,84	15,92	880,14	18,21	16,03
07/07/2024	13:40:00	853,36	18,28	15,60	878,72	18,23	16,02
07/07/2024	13:50:00	860,08	18,04	15,52	961,98	17,71	17,04
07/07/2024	14:00:00	857,65	17,68	15,16	994,21	17,89	17,79
07/07/2024	14:10:00	859,3	17,60	15,12	874,61	16,31	14,26
07/07/2024	14:20:00	857	17,00	14,57	873,6	16,55	14,46
07/07/2024	14:30:00	861,99	16,80	14,48	870,07	16,21	14,10
07/07/2024	14:40:00	867,23	16,76	14,53	895,81	16,55	14,83
07/07/2024	14:50:00	870	16,76	14,58	877,08	16,78	14,72
07/07/2024	15:00:00	869,57	17,08	14,85	863,58	17,9	15,46
Rata-Rata		841,45	17,36	14,6	17,92	939,71	16,84



Gambar 5.4 Pengujian terhadap keluaran panel surya



Gambar 5.5 Grafik hasil perbandingan daya keluaran

Tabel 5.3 merupakan data hasil pengukuran daya keluaran antara panel surya yang menggunakan *tracker* dengan panel surya statis. Berdasarkan tabel tersebut diperoleh nilai selisih daya rata-rata hasil pengujian tersebut. Dengan demikian, nilai peningkatan daya atau efektifitas

daya yang diperoleh sistem akan dapat dihitung. Gambar 5.4 merupakan proses pengujian keluaran panel surya sedangkan Gambar 5.5 merupakan grafik perbandingan hasil daya keluaran antara panel surya statis dan panel surya dengan *tracking*. Berdasarkan grafik tersebut ditemukan perbedaan nilai daya yang signifikan di beberapa titik waktu tertentu, hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu penggunaan jenis komponen yang berbeda, sudut penerimaan cahaya matahari, dan intensitas cahaya matahari yang sewaktu-waktu berubah drastis.

$$\text{Peningkatan Daya} = \frac{\text{Daya Solar Tracker} - \text{Daya Solar Statis}}{\text{Daya Solar Statis}} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan Daya} = \frac{16,84 - 14,6}{14,6} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan Daya} = 15,34\%$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus peningkatan daya dengan parameter yang digunakan berupa rata-rata pada masing-masing panel surya yang diperoleh dari Tabel 5.3, didapatkan bahwa nilai peningkatan daya yang dihasilkan oleh STADA sebesar 15.34%. Hal ini menunjukkan bahwa panel surya dengan *tracking* memiliki efektifitas lebih baik terhadap keluaran daya yang dihasilkan daripada panel surya statis.

5.1.3 Hasil dan Analisis Pengukuran Waktu Pengisian Baterai

Pada pengujian kali ini dilakukan pengujian terhadap waktu yang diperlukan panel surya dengan sistem tracking. Lama pengisian baterai diukur menggunakan *stopwatch* atau jam sedangkan untuk mengetahui persentase kapasitas baterai digunakan *Solar Charge Controller* (SCC) dengan fitur monitoring *State of Charge* (SoC) atau persentase baterai. Pada pengujian kali ini dilakukan 2 kali percobaan. Adapun cara mengetahui lama pengisian pada baterai dapat dilakukan perhitungan, yaitu kapasitas baterai dibagi dengan input yang digunakan untuk *charging*.

$$\text{Durasi Pengisian} = \frac{\text{Kapasitas baterai (Wh)}}{\text{Daya (W)}} \quad (5.6)$$

$$\text{Kecepatan Pengisian} = \frac{\text{persentase baterai}}{\text{Durasi Charging}} \quad (5.7)$$

Tabel 5.4 Pengukuran waktu pengisian baterai

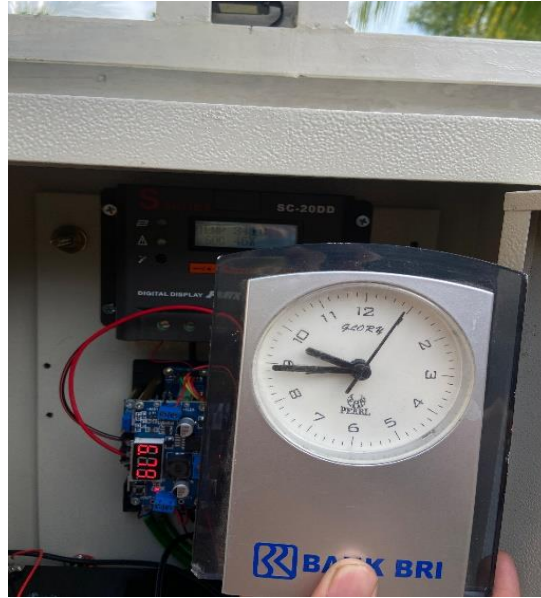
Kapasitas Baterai	Rata- Rata <i>Output</i> Daya Panel Surya dalam 10 menit	Lama Pengisian	Persentase Baterai Sebelum <i>Charging</i>	Persentase Baterai Setelah <i>Charging</i>
144Wh	16.84	135 menit	15	46

Tabel 5.5 Pengukuran waktu pengisian baterai

Kapasitas Baterai	Rata- Rata <i>Output</i> Daya Panel Surya dalam 10 menit	Lama Pengisian	Persentase Baterai Sebelum <i>Charging</i>	Persentase Baterai Setelah <i>Charging</i>
144Wh	16.84	6 jam	21	90



Gambar 5.6 Persentase baterai sebelum Charging



Gambar 5.7 Persentase baterai setelah charging

Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 merupakan hasil pengukuran terhadap waktu pengisian baterai. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan diketahui bahwa waktu pengisian baterai kapasitas 144Wh dari presentase kapasitas baterai sebesar 15% hingga 46% dengan suplai daya sebesar 16.84 memerlukan waktu selama 145 menit, sedangkan untuk pengukuran kedua yang mana bersamaan dengan pengambilan data daya keluaran panel surya selama 6 jam didapat Persentase baterai yang semula 21% menjadi 90% Untuk menghitungnya secara manual dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$Durasi\ Pengisian = \frac{Kapasitas\ baterai\ (Wh)}{Daya\ (W)} = \frac{144Wh}{16.84W} = 8,5\ jam = 510\ menit$$

$$Kecepatan\ Pengisian = \frac{Persentase\ baterai}{Durasi\ Charging} = \frac{100\%}{510} = 0,19\%/menit$$

Dari perhitungan manual didapatkan waktu 510 menit untuk mengisi daya baterai hingga penuh dengan input rata-rata 16.84W, sehingga untuk mengisi baterai dengan kapasitas 144W memerlukan waktu 0,19 menit tiap satu persen.

$$\text{Kecepatan Pengisian} = \frac{\text{Persentase baterai}}{\text{Durasi Charging}} = \frac{(46\% - 15\%)}{145 \text{ menit}} = 0,22\%/\text{menit}$$

$$\text{Kecepatan Pengisian} = \frac{\text{Persentase baterai}}{\text{Durasi Charging}} = \frac{(90\% - 21\%)}{360 \text{ menit}} = 0,19\%/\text{menit}$$

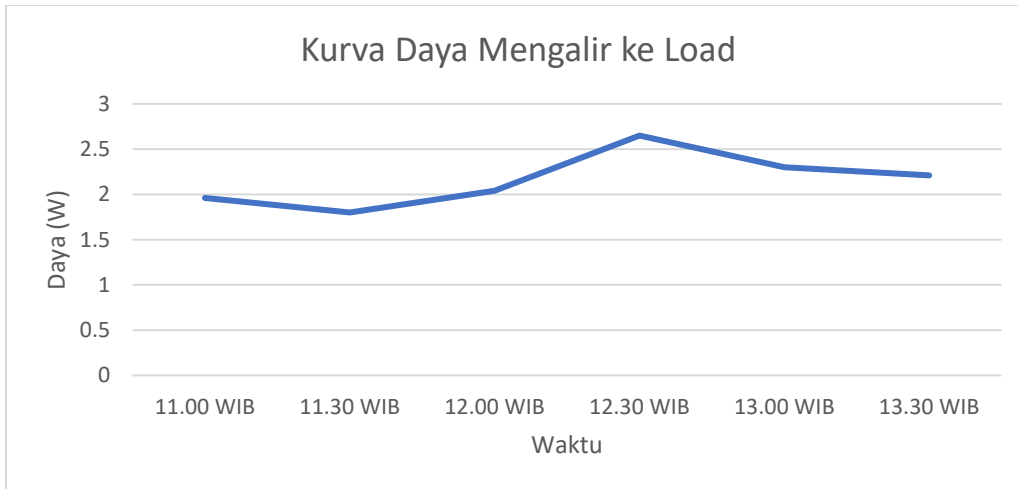
Berdasarkan pengukuran kecepatan pengisian disimpulkan bahwa data percobaan yang dilakukan sesuai dengan perhitungan, bahwasannya lama *charging* yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dari 0% ke 100% adalah 510 menit dengan syarat input daya rata-rata dari panel surya sebesar 16,84W.

5.1.4 Hasil dan Analisis Konsumsi Energi *Tracker*

Pada pengujian kali ini dilakukan pengukuran konsumsi energi yang digunakan untuk menggerakkan *tracker*. Pengukuran dilakukan selama 3 jam dan data diambil tiap 30 menit. Adapun komponen yang terhubung di jalur beban yaitu 2 motor servo, ESP 32 dan dua modul *step down*.

Tabel 5.6 Hasil pengukuran daya konsumsi *tracker*

Waktu	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya(W)
11.00 – 11.30	0.15	13.11	1.96
11.30 – 12.00	0.14	12.92	1.80
12.00 – 12.30	0.16	12.81	2.04
12.30 – 13.00	0.21	12.64	2.65
13.00 - 13.30	0.18	12.83	2.30
13.30 – 14.00	0.17	13	2.21
Rata-Rata	0,16	12.88	2.06

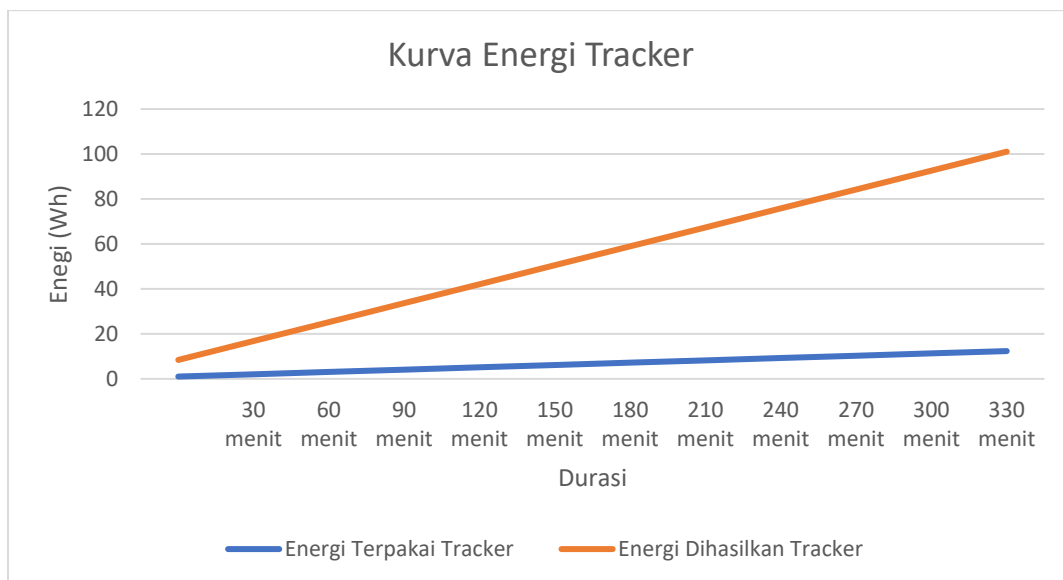


Gambar 5.8 Kurva daya mengalir ke beban

Tabel 5.6 dan Gambar 5.6 merupakan hasil pengukuran terhadap daya konsumsi *tracker*. Didapat rata-rata arus sebesar 0,2A, tegangan sebesar 12,88V dan daya sebesar 2,06W. Berikutnya Data tersebut dibandingkan dengan daya hasil tracking selama 6 jam.

$$\text{Daya Tracking} = \text{Daya rata - rata} \times \text{durasi penggunaan} = 2,06W \times 6 \text{ jam} = 12,36Wh$$

$$\begin{aligned} \text{Daya Hasil Tracking} &= \text{Daya rata - rata hasil tracking} \times \text{durasi penggunaan} \\ &= 16,84 \times 6 \text{ jam} = 101,04 Wh \end{aligned}$$



Gambar 5.9 Kurva konsumsi energi *tracker* dan yang dihasilkan *tracker*

Gambar 5.7 merupakan kurva konsumsi energi *tracker* dan energi yang dihasilkan oleh *tracker*. Data tersebut menunjukkan minimnya konsumsi energi yang digunakan untuk *tracking*, sehingga hal ini berbanding lurus dengan tujuan sistem yaitu memaksimalkan daya keluaran dengan konsumsi energi *tracking* seminimal mungkin.

5.1.5 Perbandingan Performa

Tabel 5.7 merupakan perbandingan performa yang dimiliki oleh *Solar Tracking Automatic Dual Axis (STADA)* dengan *Ecoflow Single Axis Solar Tracker*. Perbedaan paling mencolok adalah pada sistem proteksi hujan yang hanya dimiliki oleh *Ecoflow Single Axis Solar Tracker*.

Tabel 5.7 Perbandingan performa sistem

No	Fitur / Komponen	STADA	Ecoflow Single Axis Solar Tracker
1	Output Panel Surya	50Wp	30Wp
2	Tegangan maksimal	21V	50V
3	Komunikasi	Wifi	Wifi, Bluetooth
2	Rentang sumbu tracking vertical	0°-90°	10°-85°
5	Kapasitas baterai	144 Wh (12V,12Ah)	36Wh (14.4V,2.5Ah)
6	Jenis Tracking	Dua sumbu	Satu sumbu
7	Jenis baterai	VRLA	NCM
8	Metode <i>tracking</i>	Otomatis	Otomatis, manual
9	Monitoring	Daya keluaran (W)	Cahaya yang diterima (lux), suhu
10	<i>Rain protection system</i>	-	ada
11	Harga	Rp.6.250.000	Rp. 7.029.487

5.1.6 Pemenuhan Spesifikasi Sistem

Tabel 5.8 merupakan ringkasan perbandingan usulan sebelumnya dengan hasil perancangan sistem yang telah dibuat. Terdapat pergantian komponen yang mana mempengaruhi spesifikasi hasil rancangan sistem

Tabel 5.8 Perbandingan usulan dan hasil perancangan sistem

No	Spesifikasi	Usulan	Realisasi
1	Dimensi Panel Surya	50 cm x 75 cm	65 cm x 65 cm
2	Solar Charge Controller	PWM	PWM

No	Spesifikasi	Usulan	Realisasi
3	Output dan Kapasitas Baterai	12V 9Ah	12V 12 Ah
4	Tegangan maksimal terbaca sensor	20V	26V
5	Arus maksimal terbaca sensor	5A	3.2A
6	Torsi Motor servo	25kg	30kg
7	Mikrokontroller	Arduino Uno dan ESP 32	ESP 32

5.1.7 Pengalaman Pengguna

Setelah alat diimplementasikan terdapat beberapa keluhan yang disampaikan oleh pengguna/*stakeholder*. Diantaranya terdapat hilangnya data transaksi kirim terima antara arduino UNO dan ESP32. Kemudian ketika sistem dimulai ulang maka waktu yang ditampilkan berdasarkan RTC kerap terjadi kesalahan atau waktu dimulai lagi dari waktu pertama kali RTC di atur oleh pengguna. Selain itu, pembacaan arus oleh sensor ACS719 kurang akurat atau *error* didapatkan cukup besar ketika dibandingkan dengan hasil pengukuran multimeter. Lalu terdapat kekurangan pada tingkat responsifitas pergerakan tracking serta kurangnya proporsional ukuran mounting bracket panel surya. Tabel 5.9 memuat beberapa hal terkait pengalaman pengguna.

Tabel 5.9 Pengalaman pengguna

No	Fitur/Komponen	Capaian	Aksi/Perbaikan
1	Arduino UNO dan ESP32	Kerap terjadi error ketika saling kirim terima antara kedua mikrokontroler.	Diperbaiki dengan menghilangkan arduino uno dan hanya hanya menggunakan ESP32.
2	RTC	ketika terjadi restart sistem, waktu yang ditampilkan kerap berulang atau tidak otomatis terbaru sesuai waktu terbaru.	RTC tidak digunakan dan diganti dengan waktu yang diambil dari web menggunakan ESP32 sehingga waktu menjadi otomatis terbaru.
3	ACS712 dan sensor tegangan	Pembacaan arus kurang akurat karena karakteristik titik awal pembacaan sensor yang tidak	Diganti dengan sensor INA219 yang lebih kompleks , akurat, dan mudah karena tidak perlu dilakukan kalibrasi.

No	Fitur/Komponen	Capaian	Aksi/Perbaikan
		konsisten atau selalu berubah - ubah.	
4	Mounting Tracking Panel Surya	Kondisi <i>tracking</i> yang tidak dapat dilakukan sebab kondisi mounting bracket yang kurang proporsional	Mounting dipangkas/dipotong pada beberapa bagian serta terdapat penambahan pemberat penyeimbang untuk meringankan pergerakan motor
5	Kemudahan	Data <i>output</i> panel surya dan daya yang mengalir ke beban dapat di akses dan dilihat dari <i>smartphone</i> secara <i>real-time</i> melalui aplikasi Blynk.	Dipertahankan.

Penghapusan Arduino UNO pada sistem mempertimbangkan beberapa faktor diantaranya yaitu tingkat kesulitan dan efisiensi. Kesulitan yang dimaksud yaitu sulitnya kedua mikrokontroler yaitu Arduino UNO dan ESP 32 berkomunikasi secara cepat dan tepat tanpa adanya *error*. Setelah dilakukannya peninjauan ulang ditemukan bahwa ESP 32 memiliki cukup pin untuk beberapa sensor dan komponen lain yang akan digunakan.

Adapun pergantian komponen RTC dilakukan dikarenakan penggunaan RTC kerap kali mengalami *error* ketika sistem dimulai ulang, hal tersebut terjadi karena ketika sistem dimulai ulang maka RTC kerap kali tidak menunjukkan waktu yang tepat. Selain itu penggunaan waktu dari web dinilai lebih akurat daripada penggunaan RTC sebagai acuan waktu.

Sedangkan pergantian ACS 719 dengan INA 219 ditinjau dari perbandingan tingkat akurasi dan kompleksitas antar kedua sensor, dimana berdasarkan percobaan yang dilakukan ditemukan bahwa nilai akurasi dari ACS 719 cenderung tidak lebih akurat bila dibandingkan dengan nilai akurasi INA 219 dimana berdasar pengujian nilai akurasi ACS 719 sebesar 94% sedangkan untuk INA 219 memiliki nilai akurasi 96,79%

Kemudian adanya perbaikan mekanik pada sistem, mempertimbangkan proporsional ukuran mounting yang tentu akan mempengaruhi pergerakan *tracking* serta konsumsi energi motor. Adapun perbaikan mounting yang dimaksud meliputi adanya pemangkasan atau pemotongan bagian penyangga panel surya serta penambahan beban penyeimbang dibagian as besi penggerak.

5.1.8 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya

Tabel 5.10 merupakan ringkasan mengenai kesesuaian usulan dan realisasi *timeline* pengerjaan tugas akhir 2. Terdapat ketidaksesuaian rencana dan realisasi karena berbagai faktor kendala yang mana mengakibatkan mundurnya pelaksanaan kegiatan yang telah direncanakan.

Tabel 5.10 Kesesuaian antara usulan dan realisasi *timeline* pengerjaan tugas akhir 2

No	Kegiatan	Usulan waktu	Realisasi Pelaksanaan
1	Pembelian alat dan bahan	Januari - Februari	Januari - Februari
2	Perancangan sistem dengan usulan	Februari - April	Februari – Mei
3	Testing dan validasi	April - Mei	Mei – Juli
4	Penyempurnaan alat	Mei-Juni	Juni - Juli
5	Expo dan pengumpulan laporan akhir	Juni	Juli

Tabel 5.11 Kesesuaian RAB Tugas Akhir antara usulan dan realisasi

No	Jenis Pengeluaran	Usulan Biaya		Realisasi Biaya	
		Kuantitas	Total Harga	Kuantitas	Total Harga
1	Mekanis Sistem Tracking	1 pcs	Rp 200.000,00	1 pcs	Rp 800.000,00
2	ESP32	1 pcs	Rp 60.000,00	1 pcs	Rp 60.000,00
3	<i>Solar Charge Controller</i> (SCC)	1 pcs	Rp 40.000,00	1 pcs	Rp 400.000,00
4	Baterai VRLA 12Ah	1 pcs	Rp 130.00,00	1pcs	Rp 290.000,00
5	Box Panel	1 pcs	Rp 270.000,00	1 pcs	Rp 270.000,00
6	Sensor LDR	4 pcs	Rp 40.000,00	4 pcs	Rp 5.000,00
7	Panel Surya	1 pcs	Rp 335.000,00	1 pcs	Rp 350.000,00
8	Motor Servo	2 pcs	Rp. 372.000,00	2 pcs	Rp 600.000,00
9	Kabel dan peralatan lain	1 pcs	Rp. 300.000,00	1 pcs	Rp 200.000,00
8	Modul Step Down	-	-	2 pcs	Rp 110.000,00

No	Jenis Pengeluaran	Usulan Biaya		Realisasi Biaya	
		Kuantitas	Total Harga	Kuantitas	Total Harga
10	Modul SD Card	-	-	1 pcs	Rp. 8000,00
11	SD Card	-	-	1 pcs	Rp. 60.000,00
12	Aduino Uno	1 pcs	Rp. 70.000,00	-	-
13	Sensor ACS 712	1 pcs	Rp. 27.000,00	-	-
Total biaya		Rp. 1.844.000,00		Total biaya	Rp. 3.153.000,00

Tabel 5.11 merupakan tabel perbandingan atau kesesuaian rancangan anggaran biaya antara biaya yang telah diusulkan sebelumnya dengan biaya yang telah terealisasi. Diketahui bahwa biaya yang diusulkan sebelumnya sebesar Rp. 1.844.000,00 sedangkan biaya terealisasi sebesar Rp. 3.153.000,00. Terdapat penambahan dan pengurangan komponen sehingga mempengaruhi biaya yang direalisasikan untuk pembuatan alat. Harga yang diperkirakan juga lebih mahal sehingga biaya yang diperlukan lebih banyak dari yang diusulkan.

Tabel 5.12 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 2

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	Rabu, 3 Januari 2024, 3 jam	Penulisan komponen yang akan dibeli serta pembelian komponen di <i>marketplace</i> .	Ryan
2	Kamis, 15 Januari 2024, 3 jam	Pembelian komponen ke toko.	Royan, Ryan
3	Kamis, 22 Februari 2024, 2 jam	Melengkapi komponen yang belum terbeli.	Royan, Ryan
4	Senin, 26 Februari 2024, 4 hari	Merancang sistem elektronis dan mekanis sesuai usulan dan referensi.	Ryan
5	Kamis, 7 Maret 2024, 2 hari	Pengecekan perancangan sistem elektronis dan mekanis.	Royan, Ryan
6	Minggu, 17 Maret 2024, 3 hari	Pencarian referensi pemaksimalan rancangan sistem elektronis dan mekanis.	Royan, Ryan

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
7	Sabtu, 26 Maret 2024, 3 hari	Penambahan dan perbaikan rancangan sistem elektronis dan mekanis.	Royan, Ryan
8	Selasa, 8 April 2024, 2 hari	Pengecekan ulang rancangan sistem elektronis dan finalisasi rancangan mekanis.	Royan, Ryan
9	Jumat, 19 April 2024, 1 hari	Finalisasi rancangan sistem elektronis, , sekaligus pengantaran desain mekanik ke tukang las.	Royan, Ryan
10	Senin, 24 April 2024, 4 hari	Pembuatan coding berdasarkan rancangan sistem.	Royan
	Selasa, 7 Mei 2024, 2 hari	Pengecekan coding pembacaan LDR.	Royan
11	Senin, 13 Mei 2024, 3 hari	Pengumpulan data LDR menggunakan <i>data logger</i> .	Royan, Ryan
12	Rabu, 22 Mei 2024, 1 hari	Perbaikan kode untuk kalibrasi nilai sensor LDR dan penambahan tatakan LDR pada mounting.	Royan, Ryan
13	Senin, 27 Mei 2024, 1 hari	Pengujian kode <i>tracking</i> motor dan penambahan mekanik mounting untuk tatakan motor.	Royan, Ryan
14	Selasa, 4 Juni 2024, 2 hari	Revisi mekanik tracking mounting dan perbaikan koding motor.	Royan, Ryan
15	Kamis, 13 Juni 2024, 2 hari	Percobaan ulang motor dengan mounting setelah direvisi.	Royan, Ryan
16	Selasa, 18 Juni 2024, 2 jam	Revisi kembali mounting ke tukang las	Royan, Ryan
17	Senin, 24 Juni 2024, 3 jam	Percobaan ulang motor dengan mounting setelah direvisi.	Royan, Ryan
18	Selasa, 2 Juli 2024, 1 hari	Penambahan pemberat sebagai penyeimbang <i>mounting bracket</i> panel surya.	Royan, Ryan
19	Minggu, 7 Juli 2024, 6 jam	Pengujian terhadap keluaran daya panel surya	Royan, Ryan
20	Selasa, 8 Juli 2024, 1 jam	Pengesahan laporan tugas akhir	Royan, Ryan
21	Rabu, 31 Juli 2024, 1 hari	Capstone Expo	Royan, Ryan

Tabel 5.12 merupakan detail kegiatan mengenai realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir sesuai waktu dan durasi yang digunakan. Aktivitas dimulai dengan pembelian komponen pada tanggal 3 Januari 2024 hingga *capstone expo* pada tanggal 31 Juli 2024.

5.2 Dampak Implementasi Sistem

1. Teknologi

Dalam bidang teknologi, *Solar Tracking Automatic Dual Axis* (STADA) dapat memudahkan pengguna atau *stakeholder* untuk mendapatkan keluaran daya panel surya yang maksimal tanpa harus memindahkan posisi ataupun merubah sudut kemiringan panel surya secara manual. Selain itu, dengan sistem berbasis IoT akan waktu kerja akan lebih efisien.

2. Lingkungan

Dalam bidang lingkungan, STADA dapat memaksimalkan daya keluaran panel surya, juga mengurangi penggunaan generator yang memiliki dampak buruk bagi lingkungan karena penggunaan bahan bakar energi tak terbarukan. Dengan demikian, pengaplikasian STADA secara tidak langsung mendukung lingkungan yang lebih bersih, aman, dan nyaman.

3. Ekonomi

Dalam bidang ekonomi, STADA dapat memaksimalkan daya keluaran, tentu berdampak pada pengurangan konsumsi energi listrik baik dari PLN maupun generator. Dengan adanya hal tersebut tentu pengeluaran biaya konsumsi energi listrik akan berkurang.

4. Politik

Dalam bidang politik, karena STADA dapat menghasilkan daya keluaran maksimal dengan energi yang bersih, tentu pengguna atau *stakeholder* telah ikut berpartisipasi mensukseskan kebijakan pemerintah mengenai peralihan konsumsi energi terbarukan. Dengan demikian dapat mendorong pemerintah dalam mengembangkan kebijakan yang mendukung pengembangan energi terbarukan, seperti subsidi, dan regulasi yang mendukung investasi dalam teknologi hijau tersebut.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Solar Tracking Automatic Dual Axis (STADA) adalah alat yang difungsikan untuk memaksimalkan daya keluaran. Penggunaan STADA juga awalnya bertujuan untuk mendukung penggunaan energi terbarukan seperti panel surya untuk mengurangi ketergantungan konsumsi energi tak terbarukan. Oleh karena itu dirancang *solar tracking* sesuai kebutuhan dengan efektif dan biaya yang terjangkau. STADA telah memenuhi tujuan yang diharapkan sebab pembuatan sistem telah sesuai kebutuhan. Dibandingkan dengan alat yang serupa dipasaran, STADA memiliki berbagai macam fitur dan biaya yang terjangkau.

Fitur yang dimiliki STADA yaitu sistem *tracking* otomatis terhadap cahaya matahari dan penyimpanan *data logger* serta sistem yang telah terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pengguna untuk memantau *output* panel surya secara jarak jauh. Penerapan STADA dapat meningkatkan efektifitas daya keluaran panel surya hingga 15,34% lebih besar dibanding panel surya statis. Hal tersebut menunjukkan bahwa penerapan STADA lebih efektif dibandingkan dengan panel surya statis. Secara keseluruhan, STADA yang dibuat mampu memecahkan tantangan yang ada karena sistem ini mampu melakukan *tracking* otomatis sehingga menghasilkan daya keluaran yang maksimum. Sehingga berdasarkan hasil perancangan alat STADA yang telah dilakukan ini dapat disimpulkan bahwa sebagian besar alat sudah sesuai dengan spesifikasi yang telah diusulkan, serta sudah memenuhi tujuan dari projek ini.

6.2 Saran

Hasil perancangan *Solar Tracking Automatic Dual Axis* (STADA), ditemukan beberapa bagian yang dapat dijadikan bahan evaluasi atau perbaikan kedepannya. Berikut ini beberapa saran untuk pengembangan STADA selanjutnya.

1. Penambahan data arus, tegangan, dan daya beban baik pada penyimpanan *data logger* ataupun aplikasi Blynk agar data yang tersimpan ataupun yang ditampilkan menjadi lebih lengkap.
2. Penambahan fitur *tracking* manual menggunakan tombol ataupun melalui aplikasi blynk sebagai antisipasi ketika automasi rusak/tidak berjalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Zuddin and S. I. Haryudo, "Perancangan Dan Implementasi Sistem Instalasi Solar Tracking Dual Axis Untuk Optimasi Panel Surya," (n.d.). [Online]. Tersedia: <https://core.ac.uk/download/pdf/230818005.pdf>
- [2] _, "Tugas Pokok dan Fungsi" STAKLIM Yogyakarta. [Online]. Tersedia: <https://staklimyogyakarta.com/judul-artikel>.
- [3] E. S. Kurniawan, "Indonesia Kaya Energi Surya, Pemanfaatan Listrik Tenaga Surya oleh Masyarakat Tidak Boleh Ditunda," EBTKE, 2 Sep. 2021. [Online]. Tersedia: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/09/02/2952/indonesia.kaya.energi.surya.pemanfaatan.listrik.tenaga.surya.oleh.masyarakat.tidak.boleh.ditunda>.
- [4] C. Jalaludin and T. Pangaribowo, "Optimasi Daya Keluaran Pada Solar Panel Dengan Metode Tracking Berbasis Internet Of Things," J. Teknol. Elektro, vol. 12, no. 1, pp. 6, Jan. 2021. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.22441/jte.2021.v12i1.002>
- [5] A. Mandala Putra, "Sistem kendali solar tracker satu sumbu berbasis Arduino dengan sensor LDR," JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional), vol. 1, no. 1, pp. 1-8, 2019. Tersedia: <https://doi.org/10.24036/jtev.v6i1.107775>
- [6] I. Nugrahanto, Sungkono, Khairuddin, and Muhammad, "Solar Cell Otomatis dengan Pengaturan Dual Axis Tracking System Menggunakan Arduino Uno 1)," J. Teknol., vol. 10, no. 1, pp. 11–16, Jan. 2021. [Online]. Tersedia: <http://jurnal.umt.ac.id/index.php/jt/index>
- [7] R. Fernandes and M. Yuhendri, "Implementasi Solar Tracker Tanpa Sensor pada Panel Surya," JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional), vol. 2, no. 2, pp. 1–6, Dec. 2019. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.24036/jtev.v6i2.109403>
- [8] W. Sutaya and K. U. Ariawan, "Solar tracker cerdas dan murah berbasis mikrokontroler 8 bit ATmega8535," J. Tek. Elektro, vol. 5, no. 1, pp. 1-8, 2016. [Online]. Tersedia: <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JST/article/download/8272/5489>
- [9] M. A. Prasetyo and H. K. Wardana, "Rancang bangun monitoring solar tracking system menggunakan Arduino dan Nodemcu Esp 8266 berbasis IoT," J. Tek. Elektro dan Komput., vol. 4, no. 2, pp. 1-8, 2017. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.24853/resistor.4.2.163-168>
- [10] B. Hari Purwoto, E. Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif, M. F. Alimul, and I. Fahmi Huda, "Efisiensi penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif," J. Tek. Elektro, vol. 3, no. 2, pp. 1-8, 2017. [Online]. Tersedia: <https://journals.ums.ac.id/index.php/emitor/article/download/6251/3914>

LAMPIRAN
TABEL PERBAIKAN
LAPORAN AKHIR CAPSTONE

MAHASISWA #1 : 20524018 Ardhina Royan Saina
MAHASISWA #2 : 20524209 Ryan Putra Prananda
JUDUL/TOPIK : Perancangan Sistem Tracking Otomatis pada Panel Surya untuk
Mengoptimalkan Daya Keluaran

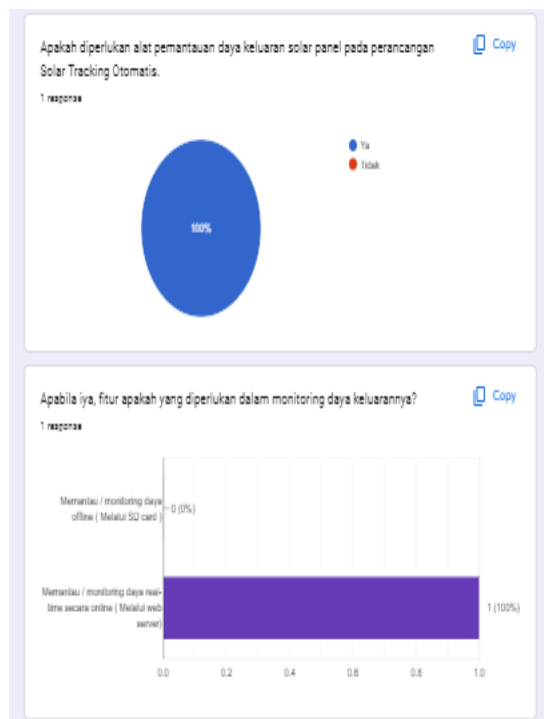
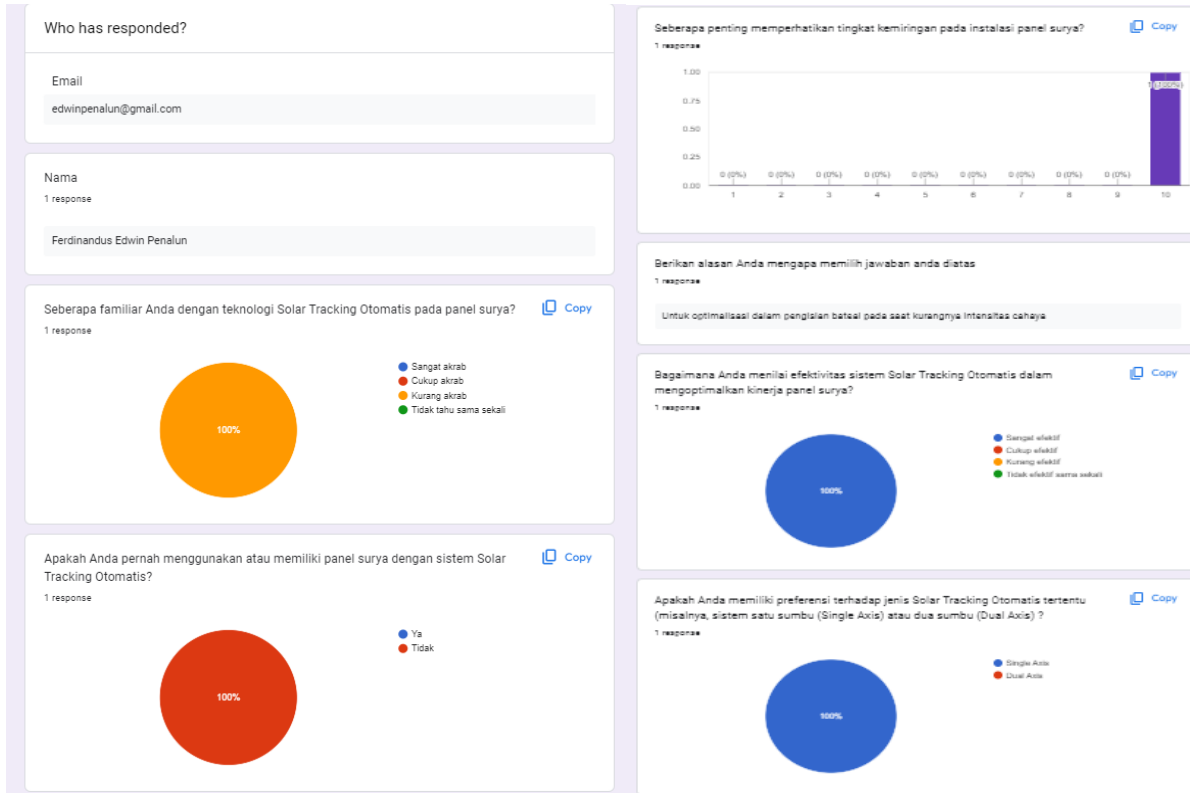
No	Saran penguji	Perbaikan oleh mahasiswa	Halaman	Status
1	Kurva daya diperbaiki supaya tidak membingungkan	sudah diperbaiki terkait kurva daya	69	Approved
2	Penambahan energi dalam kurva	sudah ditambahkan untuk kurva energi	69	Approved
3				Not started
4				Not started
5				Not started
6				Not started
7				Not started
8				Not started
9				Not started
10				Not started

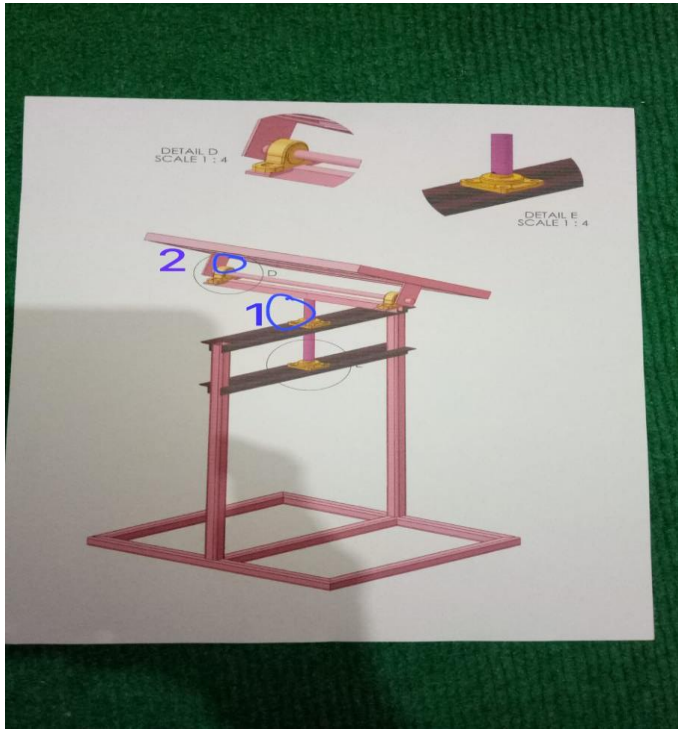
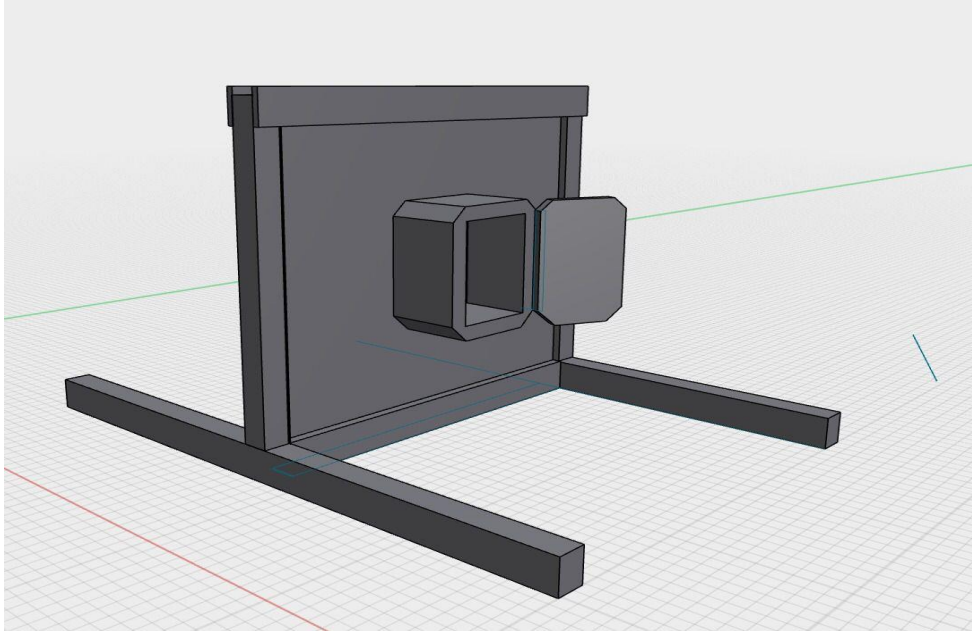
Yogyakarta, 5 Agustus 2024

Menyetujui,
Penguji



Firmansyah Nur Budiman









```

1 // Library of code
2 #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL6xHwGTWqH"
3 #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Monitoring PV"
4 #define BLYNK_AUTH_TOKEN "5CyI8Wgv3Pjz1QNDx09rGxVzQukSh6Oo"
5 #include <BlynkSimpleEsp32.h>
6 #include <ESP32Servo.h>
7 #include <WiFi.h>
8 #include <WiFiUdp.h>
9 #include <NTPClient.h>
10 #include <TimeLib.h>
11 #include <Wire.h>
12 #include <SPI.h>
13 #include <SD.h>
14 #include <Adafruit_INA219.h>
15
16 WiFiUDP ntpUDP;
17 NTPClient timeClient(ntpUDP);
18 unsigned long last_second;
19
20 // Kredensial WiFi
21 char ssid[] = "TADIKA MESRA";
22 char pass[] = "tanyahambut";
23
24 //Initialitiation INA219
25 //Adafruit_INA219 INA_219_1 (0X40);
26 Adafruit_INA219 INA_219_2 (0X41);
27 //bool ina219_1Found = false;
28 bool ina219_2Found = false;
29
30 // Variable use for Power PV
31 //float CurrentPV = 0;
32 //float VoltagePV =0;
33 //float PowerPV = 0;
34 //float sumCurrentPV = 0; // Variable of Current PV 10 minutes
35 //float sumVoltPV = 0; // Variable of Voltage PV 10 minutes
36 //float sumPowerPV = 0; // Variable of Power PV 10 minutes
37 //int countReadingsPV = 0; // Divider average PV 10 minutes
38
39 // Variable use for Power PV
40 float CurrentLoad = 0;
41 float VoltageLoad =0;
42 float PowerLoad = 0;
43 float sumCurrentLoad = 0; // Variable of Current Load 10 minutes
44 float sumVoltLoad = 0; // Variable of Voltage Load 10 minutes
45 float sumPowerLoad = 0; // Variable of Power Load 10 minutes
46 int countReadingsLoad = 0; // Divider average Load 10 minutes
47
48 //define part of tracking
49 Servo horizontal; // horizontal servo
50 int servoh = 90; // stand horizontal servo
51
52 Servo vertical; // vertical servo
53 int servov = 0; // stand vertical servo
54
55 int TolVer = 150; // set value of difference tolerance
56 int TolHor = 250; // set value of difference tolerance
57
58 // LDR pin connections
59 int LdrT = 32; //LDR Top
60 int LdrB = 35; //LDR Bot
61 int LdrL = 33; //LDR Left
62 int LdrR = 34; //ldr Right
63
64 bool isSDInitialized = false;
65 const int chipSelect = 4; // Pin chip select untuk modul SD
66
67 //WiFi

```

```

67 //Millis use to interval looping
68 unsigned long lastMillisMotor = 0;
69 unsigned long lastMillisSens = 0;
70 unsigned long lastMillisSave = 0;
71 const long intervalMotor = 50; // interval pembacaan arus (1 detik)
72 const long intervalSens = 1000; // interval pembacaan arus (1 detik)
73 const long intervalSave = 10000; // interval penyimpanan data (10 menit)
74 String dateTime = "";
75
76 void setup() {
77   Serial.begin(9600);
78
79   horizontal.attach(25);
80   vertical.attach(26);
81
82   Initialitiation INA219 for PV
83   if (!INA_219_1.begin()) {
84     Serial.println("Chip INA219 PV Not found.");
85   } else {
86     Serial.println("Chip INA219 PV found!");
87     ina219_1Found = true;
88   }
89
90   Initialitiation INA219 for Load
91   if (!INA_219_2.begin()) {
92     Serial.println("Chip INA219 Load Not found.");
93   } else {
94     Serial.println("Chip INA219 Load found!");
95     ina219_2Found = true;
96   }
97
98   // Initialitiation SD Card
99   SD.begin(chipSelect);
100   if (!SD.begin(chipSelect)) {
101     Serial.println("Initialization SD Card failed!");
102   } else {
103     Serial.println("Initialization SD Card done.");
104     isSDInitialized = true;
105   }
106   Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
107   timeClient.begin();
108   Wire.begin();
109 }
110
111 void loop() {
112   Blynk.run();
113   unsigned long currentMillis = millis();
114
115   //Get time from web to save in SD card
116   timeClient.update();
117   unsigned long rawTime = timeClient.getEpochTime() + 25200;
118   if (rawTime != last_second){
119     time_t t = rawTime;
120     int jam = hour(t); String jamStr = jam < 10 ? "0" + String(jam) : String(jam);
121     int menit = minute(t); String menitStr = menit < 10 ? "0" + String(menit) : String(menit);
122     int detik = second(t); String detikStr = detik < 10 ? "0" + String(detik) : String(detik);
123

```

```

123
124 String hari;
125 switch (weekday(t)){
126     case 1 : hari = "Minggu"; break;
127     case 2 : hari = "Senin"; break;
128     case 3 : hari = "Selasa"; break;
129     case 4 : hari = "Rabu"; break;
130     case 5 : hari = "Kamis"; break;
131     case 6 : hari = "Jumat"; break;
132     case 7 : hari = "Sabtu"; break;}
133
134 int tgl = day(t); String tglStr = tgl < 10 ? "0" + String(tgl) : String(tgl);
135 int bln = month(t); String blnStr = bln < 10 ? "0" + String(bln) : String(bln);
136 int thn = year(t); String thnStr = String(thn);
137
138 String tanggal = hari + "," + tglStr + "/" + blnStr + "/" + thnStr;
139 String waktu = jamStr + ":" + menitStr + ":" + detikStr;
140 dateTime = tanggal + "," + waktu;
141 Serial.println(dateTime);
142 last_second = rawTime;}
143
144 // Loop motor every 0.1 second
145 if (currentMillis - lastMillisMotor >= intervalMotor) {
146     lastMillisMotor = currentMillis;
147     //Sensor reading value of light
148     int VT = analogRead(LdrT); // Value Top LDR
149     int VB = analogRead(LdrB); // Value Bot LDR
150     int VL = analogRead(LdrL); // Value Left LDR
151     int VR = analogRead(LdrR); // Value Rigt LDR
152
153     //Displaying sensor values
154     Serial.print("nilai vt = "); Serial.println(VT);
155     Serial.print("nilai vb = "); Serial.println(VB);
156     Serial.print("nilai vl = "); Serial.println(VL);
157     Serial.print("nilai vr = "); Serial.println(VR);
158     Serial.print("\n");
159
160     //Checking difference of values LDR
161     int CekVert = VT - VB; // check the diffirence of up and down
162     int CekHoriz = VL - VR;// check the diffirence og left and rigt
163
164     //Displaying difference of values
165     Serial.print("Difference Vertikal = "); Serial.println(CekVert);
166     Serial.print("Difference Horizontal= "); Serial.println(CekHoriz);
167     Serial.print("\n");
168
169     // check if the diffirence is in the tolerance else change vertical angle
170     if (CekVert < -1*TolVer || CekVert > TolVer) {
171         if (VT < VB){ servov = servov+2;
172             if (servov > 90) servov = 90;}
173
174         else if (VT > VB){ servov= servov-2;
175             if (servov < 0) servov = 0;}
176
177         else servov = servov;
178     vertical.write(servov);}
179
180     else servov = servov;
181
182

```

```

---
182 // check if the diffirence is in the tolerance else change horizontal angle
183 if (CekHoriz < -1*TolHor || CekHoriz > TolHor) {
184     if (VL < VR){ servoh = servoh+2;
185         | if (servoh > 180) servoh = 180;}
186     |
187     else if (VL > VR){ servoh = servoh-2;
188         | if (servoh < 0) servoh = 0;}
189     |
190     else servov = servov;
191     horizontal.write(servoh);}
192
193 else
194     | servoh = servoh; }
195
196 // Loop reading values of sensor every one second
197 if (currentMillis - lastMillisSens >= intervalSens) {
198     lastMillisSens = currentMillis;
199
200     if (ina219_1Found) {
201         float shuntVoltagePV = INA_219_1.getShuntVoltage_mV();
202         float busVoltagePV = INA_219_1.getBusVoltage_V();
203         float rawPowerPV = INA_219_1.getPower_mW();
204         CurrentPV = INA_219_1.getCurrent_mA();
205         VoltagePV = busVoltagePV + (shuntVoltagePV / 1000);
206         PowerPV = rawPowerPV / 1000;
207         sumCurrentPV += CurrentPV;
208         sumVoltPV += VoltagePV;
209         sumPowerPV += PowerPV;
210         countReadingsPV++;
211
212         Serial.print("Voltage PV : "); Serial.print(VoltagePV); Serial.println(" V");
213         Serial.print("Current PV: "); Serial.print(CurrentPV); Serial.println(" mA");
214         Serial.print("Power PV: "); Serial.print(PowerPV); Serial.println(" W");
215     }
216
217     if (ina219_2Found) {
218         float shuntVoltageLoad = INA_219_2.getShuntVoltage_mV();
219         float busVoltageLoad = INA_219_2.getBusVoltage_V();
220         float rawPowerLoad = INA_219_2.getPower_mW();
221         CurrentLoad = INA_219_2.getCurrent_mA();
222         VoltageLoad = busVoltageLoad + (shuntVoltageLoad / 1000);
223         PowerLoad = rawPowerLoad / 1000;
224         sumCurrentLoad += CurrentLoad;
225         sumVoltLoad += VoltageLoad;
226         sumPowerLoad += PowerLoad;
227         countReadingsLoad++;
228
229         Serial.print("Voltage PV: "); Serial.print(VoltageLoad); Serial.println(" V");
230         Serial.print("Current PV: "); Serial.print(CurrentLoad); Serial.println(" mA");
231         Serial.print("Power PV: "); Serial.print(PowerLoad); Serial.println(" W");
232     }
233     //float PowerFinal = PowerPV-PowerLoad;
234     Blynk.virtualWrite(V0, VoltageLoad);
235     Blynk.virtualWrite(V1, CurrentLoad);
236     Blynk.virtualWrite(V2, PowerLoad);
237     Blynk.virtualWrite(V3, PowerLoad);
238     Blynk.virtualWrite(V4, PowerLoad);
239 }
---
```

```

241 // Loop saving values of sensor in every ten minutes
242 if (currentMillis - lastMillisSave >= intervalSave) {
243     lastMillisSave = currentMillis;
244     Calculate average of current, voltage, and power values
245     float averageCurrentPV = sumCurrentPV / countReadingsPV;
246     float averageVoltPV = sumVoltPV / countReadingsPV;
247     float averagePowerPV = sumPowerPV / countReadingsPV;
248     float averageCurrentLoad = sumCurrentLoad / countReadingsLoad;
249     float averageVoltLoad = sumVoltLoad / countReadingsLoad;
250     float averagePowerLoad = sumPowerLoad / countReadingsLoad;
251     float averageCurrent = averageCurrentPV - averageCurrentLoad;
252     float averageVoltage = averageVoltPV - averageVoltLoad;
253     float averagePower = averagePowerPV - averagePowerLoad;
254     String dataSave = dateTime + ", Current PV: " + String(averageCurrentLoad)+ ", Voltage PV: " + String(averageVoltLoad)+ ", Power PV: " + String(averagePowerLoad);
255     saveDataToSD(dataSave);
256     Reset parameter to use in next iteration
257     sumCurrentPV = 0;
258     sumVoltPV = 0;
259     sumPowerPV = 0;
260     countReadingsPV = 0;
261     sumCurrentLoad = 0;
262     sumVoltLoad = 0;
263     sumPowerLoad = 0;
264     countReadingsLoad = 0;
265 }
266
267 if (!SD.begin(chipSelect)) isSDInitialized = false;
268 else isSDInitialized = true;
269 }
270
271 void saveDataToSD(String Data) {
272     if (isSDInitialized) {
273         File dataFile = SD.open("/Monitoring.txt", FILE_APPEND);
274         if (dataFile) {
275             dataFile.println(Data);
276             dataFile.close();
277             Serial.println("Data written to SD: ");
278         } else Serial.println("Error opening file on SD");
279     } else Serial.println("SD card not initialized.");
280 }
281

```

Tanggal	Jam(UTC)	Arus	Output Pembagi Tegangan		Tegangan RILL (V)	a PV Statis	Jam(WIB)
07/07/2024	02:00:00	908.27	3.55V	3.55	14.20	12.90	09:00:00
07/07/2024	02:10:00	908.14	3.88V	3.88	15.52	14.09	09:10:00
07/07/2024	02:20:00	907.83	4.28V	4.28	17.12	15.54	09:20:00
07/07/2024	02:30:00	897.39	4.21V	4.21	16.84	15.11	09:30:00
07/07/2024	02:40:00	888.12	4.27V	4.27	17.08	15.17	09:40:00
07/07/2024	02:50:00	859.78	4.11V	4.11	16.44	14.13	09:50:00
07/07/2024	03:00:00	840.97	4.20V	4.2	16.80	14.13	10:00:00
07/07/2024	03:10:00	837.59	4.10V	4.1	16.40	13.74	10:10:00
07/07/2024	03:20:00	802.1	4.38V	4.38	17.52	14.05	10:20:00
07/07/2024	03:30:00	797.2	4.18V	4.18	16.72	13.33	10:30:00
07/07/2024	03:40:00	789.32	4.35V	4.35	17.40	13.73	10:40:00
07/07/2024	03:50:00	787.37	4.42V	4.42	17.68	13.92	10:50:00
07/07/2024	04:00:00	783.77	4.40V	4.4	17.60	13.79	11:00:00
07/07/2024	04:10:00	781.39	4.49V	4.49	17.96	14.03	11:10:00
07/07/2024	04:20:00	787.11	4.30V	4.3	17.20	13.54	11:20:00
07/07/2024	04:30:00	784.85	4.49V	4.49	17.96	14.10	11:30:00
07/07/2024	04:40:00	791.74	4.56V	4.56	18.24	14.44	11:40:00
07/07/2024	04:50:00	795.64	4.61V	4.61	18.44	14.67	11:50:00
07/07/2024	05:00:00	819.65	4.21V	4.21	16.84	13.80	12:00:00
07/07/2024	05:10:00	843.14	4.21V	4.21	16.84	14.20	12:10:00
07/07/2024	05:20:00	844.78	4.27V	4.27	17.08	14.43	12:20:00
07/07/2024	05:30:00	839.19	4.35V	4.35	17.40	14.60	12:30:00
07/07/2024	05:40:00	841.1	4.41V	4.41	17.64	14.84	12:40:00
07/07/2024	05:50:00	847.04	4.54V	4.54	18.16	15.38	12:50:00
07/07/2024	06:00:00	850.5	4.65V	4.65	18.60	15.82	13:00:00
07/07/2024	06:10:00	852.28	4.78V	4.78	19.12	16.30	13:10:00
07/07/2024	06:20:00	846.39	4.65V	4.65	18.60	15.74	13:20:00
07/07/2024	06:30:00	845	4.71V	4.71	18.84	15.92	13:30:00
07/07/2024	06:40:00	853.36	4.57V	4.57	18.28	15.60	13:40:00
07/07/2024	06:50:00	860.08	4.51V	4.51	18.04	15.52	13:50:00
07/07/2024	07:00:00	857.65	4.42V	4.42	17.68	15.16	14:00:00
07/07/2024	07:10:00	859.3	4.40V	4.4	17.60	15.12	14:10:00
07/07/2024	07:20:00	857	4.25V	4.25	17.00	14.57	14:20:00
07/07/2024	07:30:00	861.99	4.20V	4.2	16.80	14.48	14:30:00
07/07/2024	07:40:00	867.23	4.19V	4.19	16.76	14.53	14:40:00
07/07/2024	07:50:00	870	4.19V	4.19	16.76	14.58	14:50:00
07/07/2024	08:00:00	869.57	4.27V	4.27	17.08	14.85	15:00:00

Hari	Tanggal	Jam (WIB)	Current PV	Voltage PV	Daya PV Tr
Minggu	07/07/2024	09:00:00	923.97	15.07	13.92
Minggu	07/07/2024	09:10:00	935.23	15.17	14.19
Minggu	07/07/2024	09:20:00	940.87	19.21	18.07
Minggu	07/07/2024	09:30:00	845.62	18.66	15.78
Minggu	07/07/2024	09:40:00	920.67	19.23	17.70
Minggu	07/07/2024	09:50:00	910.23	17.25	15.70
Minggu	07/07/2024	10:00:00	848.98	17.01	14.44
Minggu	07/07/2024	10:10:00	999.32	17.33	17.32
Minggu	07/07/2024	10:20:00	923.1	18.14	16.75
Minggu	07/07/2024	10:30:00	810.11	16.51	13.37
Minggu	07/07/2024	10:40:00	855.66	18.91	16.18
Minggu	07/07/2024	10:50:00	857.68	18.77	16.10
Minggu	07/07/2024	11:00:00	859.7	18.11	15.57
Minggu	07/07/2024	11:10:00	961.73	18.91	18.19
Minggu	07/07/2024	11:20:00	963.21	18.73	18.04
Minggu	07/07/2024	11:30:00	965.82	19.06	18.41
Minggu	07/07/2024	11:40:00	988.91	19.51	19.29
Minggu	07/07/2024	11:50:00	986.08	19.9	19.62
Minggu	07/07/2024	12:00:00	891.5	17.22	15.35
Minggu	07/07/2024	12:10:00	1211.1	17.55	21.25
Minggu	07/07/2024	12:20:00	956.34	18.2	17.41
Minggu	07/07/2024	12:30:00	907.41	18.27	16.58
Minggu	07/07/2024	12:40:00	900.55	17.55	15.80
Minggu	07/07/2024	12:50:00	1123.2	18.58	20.87
Minggu	07/07/2024	13:00:00	1009.17	19.66	19.84
Minggu	07/07/2024	13:10:00	1321.34	19.44	25.69
Minggu	07/07/2024	13:20:00	982.22	19.02	18.68
Minggu	07/07/2024	13:30:00	880.14	18.21	16.03
Minggu	07/07/2024	13:40:00	878.72	18.23	16.02
Minggu	07/07/2024	13:50:00	961.98	17.71	17.04
Minggu	07/07/2024	14:00:00	994.21	17.89	17.79
Minggu	07/07/2024	14:10:00	874.61	16.31	14.26
Minggu	07/07/2024	14:20:00	873.6	16.55	14.46
Minggu	07/07/2024	14:30:00	870.07	16.21	14.10
Minggu	07/07/2024	14:40:00	895.81	16.55	14.83
Minggu	07/07/2024	14:50:00	877.08	16.78	14.72
Minggu	07/07/2024	15:00:00	863.58	17.9	15.46