

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL AKTUATOR
MENGUNAKAN ARDUINO UNTUK *SOLAR TRACKER*
PANEL SURYA**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

REZHALDY MAULANA ROBBI

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2025

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL
AKTUATOR MENGGUNAKAN ARDUINO UNTUK
SOLAR TRACKER PANEL SURYA**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

REZHALDY MAULANA ROBBI

NIM. 2115234033

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL AKTUATOR MENGUNAKAN ARDUINO UNTUK *SOLAR TRACKER* PANEL SURYA

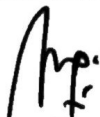
Oleh

REZHALDY MAULANA ROBBI
NIM. 2115234033

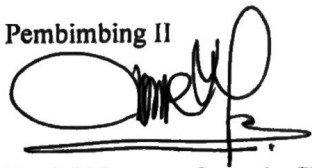
Diajukan sebagai persyaratan untuk menyelesaikan
Program Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Bali

Disetujui oleh:

Pembimbing I


Ketut Bangse, ST., MT.
NIP. 196612131991031003

Pembimbing II


Prof. I Nyoman Suamir, ST., M.Sc, Ph.D.
NIP. 196503251991031002

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



I Dewa Made Cipta Santosa, ST., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197212211999031002

LEMBAR PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL AKTUATOR MENGUNAKAN ARDUINO UNTUK *SOLAR TRACKER* PANEL SURYA

Oleh

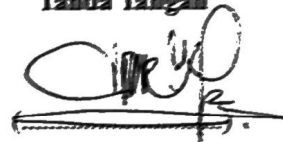
REZHALDY MAULANA ROBBI
NIM. 2115234033

Skripsi ini telah dipertahankan di depan Tim Penguji dan diterima
untuk dapat dicetak sebagai Buku Skripsi pada hari/tanggal:
Senin, 11 Agustus 2025

Tim Penguji

Ketua Penguji : Prof. I Nyoman Suamir, ST., M.Sc, Ph.D.
NIP : 196503251991031002

Tanda Tangan



Penguji I : M. Yusuf, S.Si., M.Erg.
NIP : 197511201999031003



Penguji II : Ir. I Nyoman Gede Baliarta, MT.
NIP : 196509301992031002



SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rezhaldy Maulana Robbi
NIM : 2115234033
Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas
Judul Proyek Akhir : Rancang Bangun Sistem Kontrol Aktuator Menggunakan
Arduino Untuk *Solar Tracker* Panel Surya

Dengan ini menyatakan bahwa karya ilmiah Buku Skripsi ini bebas dari plagiat. Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam Buku Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai Peraturan Mendiknas RI No. 17 Tahun 2010 dan Perundang – undangan yang berlaku.

Badung, 11 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan


Rezhaldy Maulana Robbi
NIM. 2115234033

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan Buku Skripsi ini, penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk serta dorongan dari berbagai pihak baik itu bersifat moral maupun material. Penulis secara khusus mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu. Dengan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, Penulis pada kesempatan ini ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

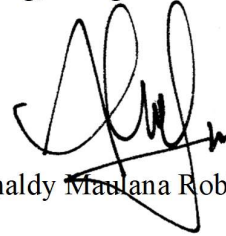
1. Bapak I Nyoman Abdi, SE, M.eCom, selaku Direktur Politeknik Negeri Bali.
2. Bapak Prof. I Dewa Made Cipta Santosa, ST M.Sc, Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak I Wayan Suastawa, S.T., M.T, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Dr. Adi Winarta, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas.
5. Bapak Ketut Bangse, ST., MT, selaku dosen pembimbing 1 yang selalu memberikan bimbingan, dorongan, arahan dan semangat kepada penulis, sehingga Buku Skripsi ini dapat diselesaikan.
6. Bapak Prof. I Nyoman Suamir, ST, MSc, PhD, selaku dosen pembimbing 2 yang selalu memberikan dukungan, arahan dan semangat kepada penulis dalam pembuatan Skripsi ini.
7. Segenap dosen dan seluruh staf akademik serta PLP yang selalu membantu dalam memberikan fasilitas, ilmu, serta pendidikan pada penulis hingga dapat menunjang dalam menyelesaikan Buku Skripsi ini.
8. Kedua orang tua tercinta yang selama ini telah membantu penulis baik materi ataupun dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa demi kelancaran dan kesuksesan dalam menyelesaikan Buku Skripsi ini.
9. Aqilla Felicia, sosok yang tidak hanya hadir sebagai pendengar setia, tetapi juga menjadi sumber semangat terbesar dalam setiap proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas segala dukungan, pengertian, dan motivasi yang selalu menguatkan di saat penulis menghadapi kesulitan maupun kelelahan. Kehadiran dan doa tulusmu menjadi bagian penting yang membuat penulis mampu menyelesaikan perjalanan kuliah ini dengan penuh keyakinan.
10. Feri Irawan, Jenar Jawara, sahabat yang senantiasa memberikan dukungan, dorongan, serta nasihat berharga. Terima kasih atas semangat dan perhatian yang diberikan, sehingga penulis terdorong untuk lebih disiplin dan berusaha menyelesaikan skripsi ini tepat waktu.
11. Ari Swarbawa dan Khayyana Dharma, rekan seperjuangan dalam merancang dan mewujudkan alat penelitian ini. Terima kasih atas kerja sama, ide, serta komitmen yang telah diberikan sejak awal hingga alat dapat terealisasi

dengan baik. Kebersamaan dalam proses ini tidak hanya memperkaya pengalaman penelitian, tetapi juga menjadi kenangan berharga selama menempuh studi.

12. Teman-teman seperjuangan yang telah membantu dalam menyelesaikan Buku Skripsi serta banyak memberikan masukan serta perhatian kepada saya.
13. Serta masih banyak lagi pihak-pihak yang sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian skripsi yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa membalas semua kebaikan yang telah diberikan.

Semoga Buku Skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca umumnya, peneliti atau penulis, dan khususnya kepada civitas akademik Politeknik Negeri Bali.

Badung, 11 Agustus 2025



Rezhaldy Maulana Robbi

ABSTRAK

Penggunaan panel surya statis memiliki keterbatasan dalam memaksimalkan penyerapan energi matahari karena posisi matahari yang terus berubah. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pelacakan otomatis agar panel dapat terus menghadap arah datangnya sinar matahari secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *solar tracker* berbasis Arduino dengan pendekatan waktu nyata (RTC) yang dilengkapi proses penyesuaian posisi menggunakan sensor cahaya (LDR).

Sistem ini dibangun menggunakan dua papan mikrokontroler, yakni Arduino ATmega2560 sebagai pengendali utama yang mengatur logika sistem, dan Arduino Uno sebagai pembaca data sudut dari sensor MPU6050 yang dipasang pada panel surya. Sudut target ditentukan berdasarkan waktu aktual menggunakan modul RTC DS1307, dengan konversi waktu antara pukul 09.00 hingga 16.00 menjadi nilai sudut dalam rentang -30° hingga $+30^\circ$. Setelah mencapai target sudut, sistem melakukan proses *fine-tuning* melalui gerakan *sweeping* sebesar $\pm 5^\circ$, yang bertujuan untuk mencari sudut terbaik berdasarkan intensitas cahaya tertinggi dari sensor LDR tunggal. Nilai intensitas yang terbaca akan dibandingkan dalam setiap langkah *sweeping*, lalu panel akan dikunci pada sudut dengan intensitas optimal. Komunikasi antar Arduino menggunakan protokol UART, dan pergerakan panel dikendalikan oleh relay ganda yang mengatur arah gerak *linear actuator*. Seluruh proses ini berlangsung otomatis tanpa intervensi manual, namun tetap tersedia fitur *override* melalui *Serial Monitor* untuk keperluan *debugging* dan pengujian sistem.

Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja stabil dan mampu menggerakkan panel secara otomatis sesuai arah gerak matahari. Namun, peningkatan efisiensi daya yang dihasilkan dibandingkan panel statis tidak signifikan. Hal ini diduga disebabkan oleh faktor cahaya difus dan keterbatasan akurasi sensor LDR. Meskipun demikian, sistem berhasil menunjukkan implementasi konsep pelacakan berbasis waktu dengan penyempurnaan sederhana menggunakan sensor cahaya.

Keywords: Arduino, *Solar Tracker*, RTC, LDR, Pelacakan Matahari, Panel Surya, Panel Statis, *Fine Tuning*, Aktuator *Linear*, MPU6050, Sistem Otomatis, *Sweeping*, Komunikasi UART, Intensitas Cahaya.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN ARDUINO BASED ACTUATOR CONTROL SYSTEM FOR SOLAR PANEL TRACKING

ABSTRACT

Static solar panels face limitations in maximizing energy absorption due to the sun's constant movement throughout the day. Therefore, an automatic tracking system is needed to ensure the panel consistently faces the direction of incoming sunlight. This study aims to design and implement a solar tracker system based on Arduino using real-time clock (RTC) data and a light sensor (LDR) for positional adjustment.

The system was developed using two microcontroller boards: an Arduino Mega as the main controller for managing system logic, and an Arduino Uno dedicated to reading the panel's tilt angle via an MPU6050 sensor. The target tilt angle is calculated using the current time from an RTC DS1307 module, converted into angular values ranging from -30° to $+30^{\circ}$ between 09:00 and 16:00. Once the target angle is reached, the system performs a fine-tuning process by sweeping $\pm 5^{\circ}$ around the target, measuring light intensity using a single LDR sensor. At each step of the sweep, the system records and compares intensity values, then repositions the panel to the angle with the highest value. Communication between the Arduino boards is conducted via UART protocol, and actuator movement is controlled using dual relays to operate the linear actuator in both directions. The tracking process runs automatically without manual intervention, while manual override via Serial Monitor remains available for debugging and testing purposes.

Testing results indicate that the system operates stably and successfully performs automatic sun tracking. However, the energy gain compared to static panels was not significantly improved, likely due to diffused light and LDR accuracy limitations. Nonetheless, the system demonstrates a practical implementation of time-based solar tracking enhanced by light-based fine-tuning.

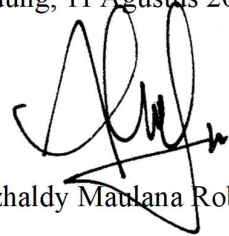
Keywords: *Arduino, Solar Tracker, RTC, LDR, Sun Tracking, Solar Panel, Static Panel, Fine Tuning, Linear Actuator, MPU6050, Automatic Control, Sweeping, UART Communication, Light Intensity.*

KATA PENGANTAR

Kami mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena bisa menyelesaikan Buku Proyek Akhir ini yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Kontrol Aktuator Menggunakan Arduino untuk *Solar Tracker* Panel Surya” tepat pada waktunya. Penyusunan Buku Proyek Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk kelulusan program pendidikan pada jenjang sarjana terapan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali. Sejak dimulainya penyusunan Buku Proyek Akhir ini, kami mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, melalui kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah berkontribusi memberikan bimbingan, moral, dan materi.

Kami menyadari bahwa Buku Proyek Akhir ini jauh dari sempurna dan masih ada kekurangan, oleh karena itu kami mengharapkan saran dari semua pihak guna perbaikan di kesempatan berikutnya. Semoga Buku Proyek Akhir ini bisa bermanfaat.

Badung, 11 Agustus 2025



Rezhaldy Maulana Robbi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.4.1 Tujuan umum	4
1.4.2 Tujuan khusus.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.5.1 Manfaat bagi penulis	5
1.5.2 Manfaat bagi Politeknik Negeri Bali.....	5
1.5.3 Manfaat bagi masyarakat	5
BAB V KESIMPULAN.....	6
5.1 Kesimpulan.....	6
5.2 Saran	7
DAFTAR PUSTAKA.....	8
LAMPIRAN.....	10

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	: Rencana Pemograman Sistem Kontrol <i>Solar Tracker</i>	10
Lampiran 2.	: <i>Coding</i> pemograman Arduino ATmega2560	12
Lampiran 3.	: <i>Coding</i> pemograman pada Arduino Uno	18
Lampiran 4.	: Dokumentasi dan Foto Komponen Sistem <i>Solar Tracker</i>	19

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk dan kegiatan industri yang pesat telah meningkatkan kebutuhan energi listrik di Indonesia. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) memprediksi bahwa kebutuhan energi listrik akan meningkat sebesar 3,6% hingga 4,2% pada tahun 2024, dengan total kebutuhan listrik mencapai 283,12 *terawatt hour* (TWh). Pada tahun 2023, konsumsi listrik per kapita tercatat sebesar 1.337 kWh, meningkat 14% dibandingkan tahun sebelumnya. Pemerintah menargetkan konsumsi per kapita mencapai 1.408 kWh pada tahun 2024. Meningkatnya kebutuhan listrik ini mencerminkan pertumbuhan ekonomi, tetapi juga menimbulkan tantangan besar, terutama dampak negatif terhadap lingkungan. Ketergantungan pada produksi listrik dari bahan bakar fosil menyumbang sekitar 25% emisi gas rumah kaca global, memicu pemanasan global, dan perubahan iklim yang ekstrim.

Pemanfaatan energi terbarukan, seperti energi surya dapat menjadi solusi strategis sebagai alternatif untuk mengurangi ketergantungan dan dampak negatif dari bahan bakar fosil. Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi matahari. Sumber energi bersifat kontinyu dan juga ramah lingkungan. Dengan rata – rata radiasi matahari mencapai 4,8 kWh/m²/hari yang mana ini setara dengan kapasitas PLTS sebesar 112.000 GWp, implementasinya masih jauh dari optimal. Berdasarkan data Kementrian ESDM, kapasitas PLTS terpasang hingga tahun 2016 hanya mencapai 16,02 MW dari target 6,4 GWp pada tahun 2025 (Bagus et al. 2019). Hal ini menunjukkan perlunya inovasi untuk meningkatkan pemanfaatan energi matahari.

Panel surya atau sel fotovoltaik, menjadi teknologi utama dalam konversi energi matahari menjadi energi listrik. Proses ini didasarkan pada efek fotovoltaik, dimana foton dari sinar matahari menghantam material semikonduktor (umumnya silikon) untuk menghasilkan muatan listrik. Berdasarkan jenis bahan dalam

pembuatan panel surya dibagi menjadi empat jenis yaitu monokristal, polikristal, amorphous dan compound atau gallium arsenid. Panel surya terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari panel surya (Hikmawan & Suprayitno, 2018). Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, sekitar 0,6V tanpa beban atau 0,45V dengan beban. Untuk mendapatkan tegangan listrik yang besar sesuai keinginan diperlukan beberapa sel surya yang tersusun secara seri. Sebagian besar panel surya 12 volt menghasilkan tegangan keluaran sekitar 16 sampai 20 volt DC, jadi jika tidak ada pengaturan, baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan. Pada umumnya baterai 12 volt membutuhkan tegangan pengisian sekitar 13 - 14,8 volt (tergantung tipe baterai) untuk dapat terisi penuh. (Purwanto et al., 2018).

Namun pemasangan panel surya yang umumnya bersifat statis dapat menjadi salah satu kendala dalam pengoptimalan energi yang dihasilkan. Posisi panel yang tidak selalu menghadap langsung ke arah datangnya cahaya matahari menyebabkan efektivitas konversi energi menurun (Pardawantara and Antony, 2023). Hal ini membuka peluang untuk pengembangan teknologi *solar tracker* yang dapat secara otomatis mengubah sudut kemiringan panel sehingga selalu menghadap ke arah matahari. Sistem kontrol *solar tracker* ini menggunakan sensor cahaya yang berperan membaca arah datangnya sinar matahari. Aktuator linear adalah alat yang bekerja dengan cara mendorong dan menarik tuas yang nantinya akan disambungkan dengan tepi papan panel, berfungsi sebagai mesin penggerak agar papan panel surya dapat menghadap ke arah datangnya sinar matahari. Dengan sistem kontrol aktuator linear menggunakan arduino untuk *solar tracker* panel surya ini, diharapkan dapat meningkatkan hasil energi listrik yang dihasilkan. Selain itu, sistem ini juga berfungsi sebagai alat evaluasi untuk mengukur pengaruh kontrol otomatis terhadap efisiensi pembangkitan energi dibandingkan dengan panel statis.

Lebih jauh, penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh sistem kontrol tersebut terhadap kinerja pembangkitan energi panel surya, serta menjadi wadah untuk mengevaluasi apakah penggunaan teknologi *solar tracker* secara signifikan dapat meningkatkan efektivitas operasional dibandingkan dengan sistem

panel surya statis. Dengan demikian proyek ini tidak hanya sebagai kontribusi akademis untuk pengembangan teknologi energi terbarukan, tetapi juga sebagai upaya untuk meningkatkan kesadaran dan motivasi masyarakat akan pentingnya penggunaan sumber energi alternatif yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari permasalahan diatas maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian rancang bangun sistem kontrol aktuator menggunakan arduino untuk *solar tracker* panel surya, yaitu:

1. Bagaimana rancangan sistem kontrol aktuator berbasis arduino dapat mengubah sudut kemiringan panel surya agar selalu mengikuti arah datangnya sinar matahari?
2. Bagaimana integrasi sensor cahaya dengan sistem kontrol dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi penggerak panel surya?
3. Bagaimana pengaruh sistem kontrol aktuator berbasis arduino pada penggerak *solar tracker* terhadap kinerja pembangkitan energi panel surya?
4. Bagaimana pengaruh penerapan sistem *solar tracker* berbasis arduino terhadap peningkatan kinerja pembangkitan energi panel surya dibandingkan dengan sistem panel surya statis?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem kontrol dari prototipe alat penggerak panel surya menggunakan arduino sebagai *platform* kontrol utama. Sistem ini dirancang untuk mengatur sudut kemiringan panel surya agar dapat mengikuti arah sinar matahari secara otomatis, dengan menggunakan sensor cahaya sebagai pendeteksi intensitas cahaya matahari. Prototipe yang dikembangkan hanya mencakup simulasi skala kecil dengan beban panel surya yang disesuaikan. Penelitian ini tidak mencakup perancangan sistem mekanis, analisis material, ataupun analisis kinerja termasuk perhitungan efektivitas energi dari segi perangkat keras pendukung, melainkan berfokus pada aspek sistem kontrol dan integrasinya.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan proposal skripsi ini meliputi tujuan umum dan tujuan khusus yang ingin dicapai penulis dalam penyusunan proposal skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Kontrol Aktuator Menggunakan Arduino untuk *Solar Tracker* Panel Surya.” sebagai berikut:

1.4.1 Tujuan umum

Adapun tujuan umum dari penulisan proposal skripsi ini, yakni:

- a. Sebagai salah satu kewajiban dan syarat kelulusan untuk meraih gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.
- b. Untuk mengaplikasikan dan menerapkan ilmu-ilmu yang diperoleh di bangku perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

1.4.2 Tujuan khusus

Selain tujuan umum yang dipaparkan di atas, terdapat tujuan khusus dari penulisan proposal skripsi ini, yakni:

- a. Merancang sistem kontrol aktuator berbasis arduino yang dapat mengubah sudut kemiringan panel surya agar selalu mengikuti arah datangnya sinar matahari.
- b. Mengintegrasikan sensor cahaya dengan sistem kontrol penggerak untuk meningkatkan akurasi orientasi panel surya terhadap posisi matahari.
- c. Menganalisis pengaruh sistem kontrol aktuator berbasis arduino pada penggerak *solar tracker* terhadap kinerja pembangkitan energi panel surya
- d. Menganalisis perbandingan kinerja pembangkitan energi listrik panel surya statis dengan panel surya menggunakan sistem kontrol *solar tracker*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis, meliputi pengembangan kompetensi penulis, kontribusi keilmuan bagi Politeknik Negeri Bali, serta penerapan teknologi energi terbarukan yang bermanfaat bagi masyarakat luas.

1.5.1 Manfaat bagi penulis

Penelitian ini memberikan kesempatan bagi penulis untuk mendalami dan mengaplikasikan ilmu pengetahuan tentang sistem kontrol berbasis arduino dalam perancangan penggerak panel surya. Selain itu, penelitian ini juga melatih kemampuan penulis dalam menganalisis, merancang, dan mengimplementasikan sebuah sistem teknis, sehingga dapat menjadi bekal berharga untuk pengembangan karir di bidang energi terbarukan.

1.5.2 Manfaat bagi Politeknik Negeri Bali

Penelitian ini dapat memperkaya khazanah keilmuan di Politeknik Negeri Bali, khususnya dalam bidang teknik energi terbarukan. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi referensi tambahan bagi mahasiswa lain yang tertarik pada topik energi surya dan sistem kontrol berbasis teknologi. Dengan penelitian ini, Politeknik Negeri Bali juga turut berkontribusi dalam upaya mendukung pengembangan konservasi energi yang bersih di Indonesia.

1.5.3 Manfaat bagi masyarakat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis dalam memaksimalkan daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Dengan teknologi penggerak otomatis ini, masyarakat dapat lebih efektif memanfaatkan energi surya, yang pada akhirnya dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil. Teknologi ini juga dapat menjadi langkah konkret dalam mendukung kelestarian lingkungan melalui penggunaan energi terbarukan.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Rancangan sistem kontrol *solar tracker* berhasil dibuat dengan mengintegrasikan Arduino ATmega2560, Arduino Uno, RTC DS1307, sensor sudut MPU6050, dan relay sebagai penggerak *linear actuator*. Sistem awal berbasis dua mode (LDR dan RTC) tidak berjalan baik karena pengaruh cahaya difus, sehingga sistem akhir disederhanakan menjadi berbasis RTC penuh dengan penyesuaian menggunakan LDR tunggal untuk *sweeping* $\pm 5^\circ$ guna mencari posisi terbaik (*best angle*) yang juga ditampilkan pada LCD.
2. Integrasi sensor cahaya melalui metode *fine tuning* terbukti dapat membantu akurasi posisi panel di sekitar sudut RTC, meskipun tidak menjadi penentu utama arah gerak. Kontribusi LDR bersifat tambahan, yakni hanya untuk memilih posisi optimal setelah panel mencapai sudut target RTC.
3. Dari hasil pengujian, sistem *solar tracker* tidak menunjukkan peningkatan efisiensi daya yang signifikan dibandingkan panel statis. Efisiensi rata-rata hanya sekitar 5–6%, jauh di bawah target acuan sebesar 30%-40% (Prasetyo et al., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa secara teknis sistem bekerja, namun dari sisi performa energi tidak sesuai ekspektasi.
4. Dibandingkan panel statis, penerapan sistem ini lebih rumit, membutuhkan biaya tambahan, dan di wilayah tropis seperti Bali yang kaya akan sinar matahari, perbedaan kinerja panel *solar tracker* dengan statis tidak signifikan. Dengan demikian, penerapan *solar tracker* lebih cocok untuk wilayah subtropis yang intensitas sinarnya lebih bervariasi.

5.2 Saran

Kelemahan utama sistem terdapat pada pembacaan sudut MPU6050 yang tidak stabil, sehingga panel sulit diam pada posisi tertentu. Upaya mitigasi dengan merata-ratakan nilai dan pemberian toleransi $\pm 5^\circ$ hanya meredam sebagian masalah. Untuk pengembangan selanjutnya, sebaiknya dilakukan perbaikan pada integrasi sensor sudut, misalnya dengan menempatkan MPU langsung pada *board* utama (ATMega2560) sementara RTC di Uno, atau mengganti sensor sudut dengan jenis lain yang lebih presisi. Selain itu, perencanaan sistem ke depan perlu lebih matang agar pemilihan komponen, komunikasi antar perangkat, dan strategi kontrol benar-benar sesuai dengan kondisi lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif F. and Martin A. (2022) “Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia,” *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 6(1), pp. 43–52.
- Ananto, R.A., Akbar, N.R. and Wibowo, S. (2022) “Perencanaan dan Implementasi Inverter Satu Fasa Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro di Air Terjun Watu Lumpang Mojokerto,” *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan POLINEMA*, 09(3), pp. 108–114.
- Astra. I. M and Sidopekso. S (2011) *Studi rancang bangun Solar Charge Controller dengan indikator arus, tegangan dan suhu berbasis mikrokontroler ATMEGA 8535*, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Jakarta.
- Bagus, I., Widiantera, G. and Sugiarta, N. (2019) *Pengaruh Penggunaan Pendingin Air Terhadap Output Panel Surya Pada Sistem Tertutup*, *JURNAL MATRIX*.
- Gunawan, I., Akbar, T. and Anwar, K. (2019) “Prototipe Sistem Monitoring Tegangan Panel Surya (Solar Cell) Pada Lampu Penerang Jalan Berbasis Web Aplikasi,” *Jurnal Informatika dan Teknologi*, 2(2), pp. 70–78.
- Hikmawan, S.R. and Suprayitno, E.A. (2018) “Rancang Bangun Lampu Penerangan Jalan Umum Menggunakan Solar Panel Berbasis Android,” *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 3(1), pp. 9–17. Available at: <https://doi.org/10.21831/elinvo.v3i1.15343>.
- Nuryanto, L.E. (2021) “Perancangan Sistem Kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLN dan PLTS) Kapasitas 800 WP,” *Orbith*, 17(3), pp. 196–205. Available at: <https://rakhman.net/power-plants-id/jenis->.
- Pardawantara, M. and Antony, F. (2023) *Perancangan Sistem Solar Tracking Dual Axis untuk Optimasi Panel Surya Menggunakan Sensor LDR dan Gyroscope Berbasis Internet of Things (IOT)*.
- Rezkyanzah, J., Purba, L.P. and Putra, C.A. (2016) “Perancangan Solar Tracker Berbasis Arduino Sebagai Penunjang Sistem Kerja Solar Cell Dalam Penyerapan Energi Matahari,” *SCAN: Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 11(2), pp. 55–60.
- Septiawan, Y.H., Alia, D. and Purnomo, H. (2022) “Desain Solar Tracker Pada Solar Cell Berbasis Arduino,” 7(2).
- Setiawan, B. (2019) *Cara Kerja dan Perawatan Baterai untuk Menunjang Kinerja Mesin di Kapal KN.SAR Sadewa 231 Badan Nasional Pencarian dan Pertolongan Semarang*.
- Simatupang, S. et al. (2013) *Rancang Bangun dan Uji Coba Solar Tracker pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroler ATmega16*, *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*.

- Sudhan, R.H. *et al.* (2015) “Arduino ATmega-328 Microcontroller,” *IJIREEICE*, 3(4), pp. 27–29. Available at: <https://doi.org/10.17148/ijireeice.2015.3406>.
- Sudirman and Basri, H. (2022) “Analisa Panel Surya Pada Sistem Pengisian Mobil Listrik 3500 Watt,” *Mekanik, Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Mesin*, 15(1), pp. 67–74.
- Supratmi, S. (2016) “Pengaruh Sensor LDR Terhadap Pengontrolan Lampu,” *Majalah Ilmiah UNIKOM*, 8, pp. 175–180.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Rencana Pemograman Sistem Kontrol *Solar Tracker* pada Mikrokontroler Arduino

```
// Libraries
#include <Servo.h>
#include <PZEM017.h>

// Pin sensor cahaya
int sensorCahayaPin = A0; // Pin untuk sensor cahaya
int sensorMendungPin = A1; // Pin untuk sensor mendung

// Pin aktuator linear (gunakan motor DC atau servo tergantung
kebutuhan)
int motorPin = 9; // Pin untuk mengontrol motor/servo

// Variabel untuk membaca nilai sensor
int sensorCahayaValue = 0;
int sensorMendungValue = 0;

// Membuat objek PZEM017 untuk membaca tegangan, arus, dan daya
PZEM017 pzem(10, 11); // Pin untuk komunikasi serial PZEM017 (RX,
TX)

// Membuat objek servo untuk aktuator linear
Servo actuator;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  // Inisialisasi servo
  actuator.attach(motorPin);

  // Setup pin sensor
  pinMode(sensorCahayaPin, INPUT);
  pinMode(sensorMendungPin, INPUT);

  // Setup PZEM017
  pzem.begin();
}

void loop() {
  // Membaca sensor cahaya
  sensorCahayaValue = analogRead(sensorCahayaPin);
  sensorMendungValue = analogRead(sensorMendungPin);

  // Menampilkan data sensor untuk debugging
  Serial.print("Sensor Cahaya: ");
  Serial.println(sensorCahayaValue);
  Serial.print("Sensor Mendung: ");
  Serial.println(sensorMendungValue);
}
```

```

// Menampilkan data PZEM017 (tegangan, arus, daya)
float voltage = pzem.voltage();
float current = pzem.current();
float power = pzem.power();

Serial.print("Tegangan: ");
Serial.println(voltage);
Serial.print("Arus: ");
Serial.println(current);
Serial.print("Daya: ");
Serial.println(power);

// Jika sensor cahaya mendeteksi sinar matahari
if (sensorCahayaValue > 512 && sensorMendungValue < 512) {
    // Panel akan bergerak ke posisi optimal mengikuti sinar
    matahari
    actuator.write(90); // Posisi untuk panel surya mengikuti
    matahari
} else if (sensorMendungValue > 512) {
    // Jika cuaca mendung, panel akan bergerak mengikuti posisi jam
    actuator.write(45); // Posisi jam yang telah ditentukan
    (misalnya 45 derajat)
}

delay(1000); // Delay selama 1 detik sebelum pengulangan
}

```

Lampiran 2. *Coding pemograman Arduino ATmega2560*

```
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

RTC_DS1307 rtc;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

const int pinLDR      = A0;
const int relayTimur = 7;
const int relayBarat = 8;

int roll      = 0;
int pitch     = 0;
int targetSudut = 0;
int ldrValue  = 0;

char waktuStr[9];
String uartBuffer = "";

int lookupSudutRTC(int jam);
int readRollFromSlave();

// Variabel sweeping
unsigned long lastSweepTime = 0;
const unsigned long SweepInterval = 30UL * 60UL * 1000UL;
const int SweepRange = 5;
const int SweepTolerance = 5;
void moveToAngle(int targetAngle, int currentAngle, int tolerance);
void performLDRSweep(int initialAngle);

// Averaging
const int NUM_READINGS = 5;
int rollReadings[NUM_READINGS];
int readIndex = 0;
long totalRoll = 0;
int averageRoll = 0;

// Override dan batasan
bool overrideRTC = false;
bool overrideMPU = false;
int overrideTargetSudut = 0;
int currentTargetSudut = 0;
bool sweepingBaruSelesai = false;
int bestAngleAfterSweep = 0;
const int SUDUT_MAX = 38;
const int SUDUT_MIN = -38;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Serial1.begin(9600);

    pinMode(relayTimur, OUTPUT);
```

```

pinMode(relayBarat, OUTPUT);
digitalWrite(relayTimur, HIGH);
digitalWrite(relayBarat, HIGH);

lcd.begin(16,2);
lcd.backlight();

if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("RTC r NOT OK");
    lcd.setCursor(0,0); lcd.print("ERROR");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print("RTC FAIL");
    while(1);
} else {
    Serial.println("RTC OK");
    lcd.setCursor(0,0); lcd.print("                ");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print("RTC r OK");
}
//rtc.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
lastSweepTime = -SweepInterval;

delay(2000);
lcd.setCursor(0,0); lcd.print("All Set");
lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Ready-Start");
Serial.println("All Set, System Start");

Serial.println("Waktu,Roll,Target,LDR");
delay(2000);
lcd.clear();

for (int i = 0; i < NUM_READINGS; i++) rollReadings[i] = 0;
}

void loop() {
    if (Serial.available()) {
        String cmd = Serial.readStringUntil('\n');
        cmd.trim();

        DateTime nowRTC = rtc.now();

        if (cmd.startsWith("rtc") && cmd.length() == 5) {
            int jam = cmd.substring(3).toInt();
            if (jam >= 0 && jam <= 23) {
                rtc.adjust(DateTime(nowRTC.year(), nowRTC.month(),
nowRTC.day(), jam, 0, 0));
                Serial.print("Jam di-set ke: "); Serial.println(jam);
            }
        } else if (cmd == "rtcback") {
            rtc.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
            Serial.println("RTC dikembalikan ke waktu asli compile.");
        } else if (cmd.startsWith("mpu+")) {
            overrideMPU = true;
            int rawValue = cmd.substring(4).toInt();
            overrideTargetSudut = constrain(rawValue, SUDUT_MIN,
SUDUT_MAX);
            if (rawValue > SUDUT_MAX) {

```

```

        Serial.print("PERINGATAN: Sudut yang diminta (+");
        Serial.print(rawValue);
        Serial.println(") melebihi batas maksimal +38.");
        Serial.print("Diset otomatis ke: ");
        Serial.println(overrideTargetSudut);
    }
    Serial.print("Override sudut ke: +");
    Serial.println(overrideTargetSudut);
    } else if (cmd.startsWith("mpu-")) {
        overrideMPU = true;
        int rawValue = cmd.substring(4).toInt();
        overrideTargetSudut = constrain(-rawValue, SUDUT_MIN,
SUDUT_MAX);
        if (rawValue > abs(SUDUT_MIN)) {
            Serial.print("PERINGATAN: Sudut yang diminta (-");
            Serial.print(rawValue);
            Serial.println(") melebihi batas maksimal -38.");
            Serial.print("Diset otomatis ke: ");
            Serial.println(overrideTargetSudut);
        }
        Serial.print("Override sudut ke: ");
        Serial.println(overrideTargetSudut);
    } else if (cmd == "mpuback") {
        overrideMPU = false;
        Serial.println("Override MPU dinonaktifkan, kembali ke RTC");
    }
}

DateTime now = rtc.now();
sprintf(waktuStr, "%02d:%02d:%02d", now.hour(), now.minute(),
now.second());

targetSudut = lookupSudutRTC(now.hour());
ldrValue = analogRead(pinLDR);

int rawRollReading = readRollFromSlave();
if (rawRollReading == 999) {
    lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("MPU TIDAK TERBACA");
    lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("Cek Koneksi MPU ");
    Serial.println("---LOST---");
    digitalWrite(relayBarat, HIGH);
    digitalWrite(relayTimur, HIGH);
    delay(300);
    return;
} else {
    totalRoll = totalRoll - rollReadings[readIndex];
    rollReadings[readIndex] = rawRollReading;
    totalRoll = totalRoll + rollReadings[readIndex];
    readIndex = (readIndex + 1) % NUM_READINGS;
    averageRoll = totalRoll / NUM_READINGS;
    roll = averageRoll;
}

if (overrideMPU) {
    currentTargetSudut = overrideTargetSudut;
}

```

```

    } else if (sweepingBaruSelesai) {
        currentTargetSudut = bestAngleAfterSweep;
    } else {
        currentTargetSudut = targetSudut;
    }

    static int lastHour = -1;
    if (now.hour() != lastHour) {
        sweepingBaruSelesai = false;
        lastHour = now.hour();
    }

    moveToAngle(currentTargetSudut, roll, 5);

    if (abs(roll - targetSudut) <= 5 && now.hour() >= 9 && now.hour()
<= 16) {
        if (millis() - lastSweepTime >= SweepInterval) {
            Serial.println("Melakukan LDR Sweep...");
            lcd.setCursor(0,0); lcd.print("SWEEPING LDR!   ");
            lcd.setCursor(0,1); lcd.print("                ");
            delay(1000);
            performLDRSweep(targetSudut);
            lastSweepTime = millis();
        }
    }

    Serial.print(waktuStr); Serial.print(", ");
    Serial.print(roll); Serial.print(", ");
    Serial.print(targetSudut); Serial.print(", ");
    Serial.println(ldrValue);

    lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Roll:           ");
    lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Roll: "); lcd.print(roll);
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Target:         ");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Target:"); lcd.print(targetSudut);
    delay(300);
}

int lookupSudutRTC(int jam) {
    if (jam < 9 || jam > 16) return 20;
    switch (jam) {
        case 9:   return -30;
        case 10:  return -20;
        case 11:  return -10;
        case 12:  return 0;
        case 13:  return 10;
        case 14:  return 20;
        case 15:  return 30;
        case 16:  return -20;
        default:  return -20;
    }
}

int readRollFromSlave() {
    static String buffer = "";

```

```

unsigned long startTime = millis();
while (Serial1.available() || (millis() - startTime < 100)) {
    if (Serial1.available()) {
        char c = Serial1.read();
        if (c == '<') {
            buffer = "";
        } else if (c == '>') {
            int pitch = 0, roll = 0;
            sscanf(buffer.c_str(), "P,%d,R,%d", &pitch, &roll);
            if (roll >= -90 && roll <= 90) return roll;
            else return 999;
        } else buffer += c;
    }
    delay(1);
}
return 999;
}

void moveToAngle(int targetAngle, int currentAngle, int tolerance)
{
    int error = currentAngle - targetAngle;
    if (abs(error) > tolerance) {
        if (error > 0) {
            digitalWrite(relayTimur, HIGH);
            digitalWrite(relayBarat, LOW);
            delay(50);
        } else {
            digitalWrite(relayBarat, HIGH);
            digitalWrite(relayTimur, LOW);
            delay(50);
        }
    } else {
        digitalWrite(relayBarat, HIGH);
        digitalWrite(relayTimur, HIGH);
    }
}

void performLDRSweep(int initialAngle) {
    int bestLDRValue = 0;
    int bestAngle = initialAngle;
    int startSweepAngle = initialAngle - SweepRange;
    int endSweepAngle = initialAngle + SweepRange;

    if (startSweepAngle < SUDUT_MIN) startSweepAngle = SUDUT_MIN;
    if (endSweepAngle > SUDUT_MAX) endSweepAngle = SUDUT_MAX;

    // Gerakkan ke awal sweeping sambil update roll
    while (abs(roll - startSweepAngle) > SweepTolerance) {
        roll = readRollFromSlave(); // Penting: update nilai roll
    }
    secara langsung
    moveToAngle(startSweepAngle, roll, SweepTolerance);
    ldrValue = analogRead(pinLDR);
    delay(50);
}

```

```

    for (int angle = startSweepAngle; angle <= endSweepAngle; angle
+= 1) {
        moveToAngle(angle, roll, SweepTolerance);
        unsigned long motorMoveStartTime = millis();

        while (abs(roll - angle) > SweepTolerance) {
            if (millis() - motorMoveStartTime > 2000) break;
            roll = readRollFromSlave(); // Update roll terus saat
bergerak
            moveToAngle(angle, roll, SweepTolerance);
            ldrValue = analogRead(pinLDR);
            delay(20);
        }

        ldrValue = analogRead(pinLDR);
        Serial.print("Sudut: "); Serial.print(angle);
        Serial.print(", LDR: "); Serial.println(ldrValue);

        if (ldrValue > bestLDRValue) {
            bestLDRValue = ldrValue;
            bestAngle = angle;
        }
    }

    Serial.print("Sweep Selesai. Sudut Terbaik: ");
Serial.print(bestAngle);
    Serial.print(" dengan LDR: "); Serial.println(bestLDRValue);
    lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Sweep Done! ");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Best: "); lcd.print(bestAngle);
    delay(1000);

    // Gerakkan ke sudut terbaik
    while (abs(roll - bestAngle) > SweepTolerance) {
        roll = readRollFromSlave();
        moveToAngle(bestAngle, roll, SweepTolerance);
        delay(50);
    }

    bestAngleAfterSweep = bestAngle;
    sweepingBaruSelesai = true;
}

```

Lampiran 3. *Coding pemograman pada Arduino Uno*

```

#include <Wire.h>
#include <MPU6050.h>

MPU6050 mpu(0x68); // AD0 = GND => alamat 0x68

void setup() {
  Serial.begin(9600); // UART ke Mega
  mpu.initialize();
  if (!mpu.testConnection()) {
    Serial.println("MPU NOT OK");
    while (1); // Gagal koneksi MPU
  }
  Serial.println("MPU OK - SLAVE MULAI");
}

void loop() {
  int16_t ax, ay, az;
  mpu.getAcceleration(&ax, &ay, &az);

  float axG = ax / 16384.0;
  float ayG = ay / 16384.0;
  float azG = az / 16384.0;

  int8_t pitch = (int8_t)(atan2(axG, sqrt(ayG * ayG + azG * azG)) *
180.0 / PI);
  int8_t roll  = (int8_t)(atan2(ayG, sqrt(axG * axG + azG * azG)) *
180.0 / PI);

  // Format pengiriman stabil: <P,pitch,R,roll>
  Serial.print('<');
  Serial.print("P,"); Serial.print(pitch); Serial.print(',');
  Serial.print("R,"); Serial.print(roll);
  Serial.println('>');

  delay(100);
}

```

Lampiran 4. Dokumentasi dan Foto Komponen Sistem *Solar Tracker* menggunakan Arduino

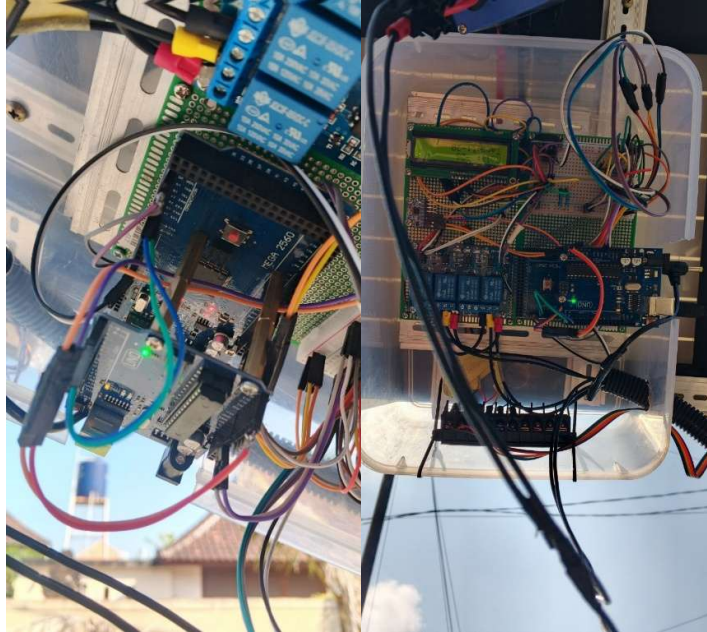


Foto Arduino ATmega2560 ditumpuk dengan Uno dan foto keseluruhan rangkaian sistem *solar tracker*.

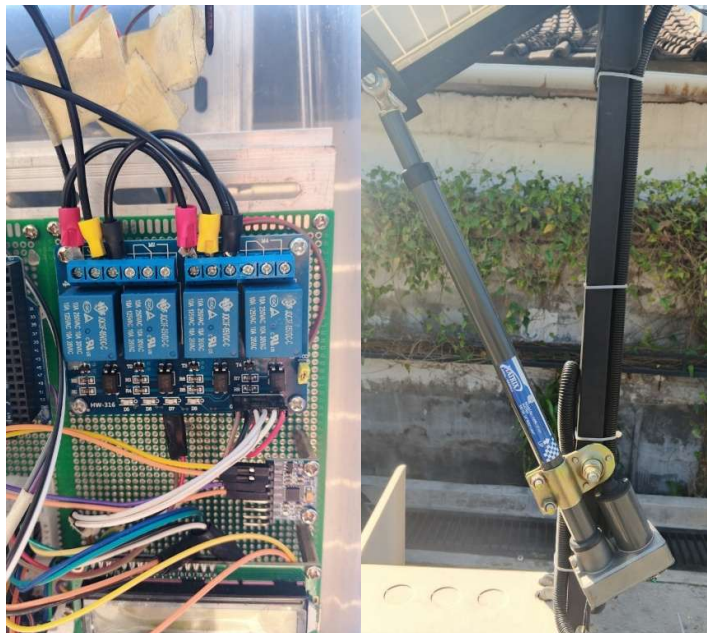


Foto rangkaian relay timur – barat dan foto *linear actuator*.



Foto RTC DS1307, tampak belakang (foto kiri) dan depan (foto kanan).



Foto MPU6050 dan LDR Mendung – Timur – Barat.

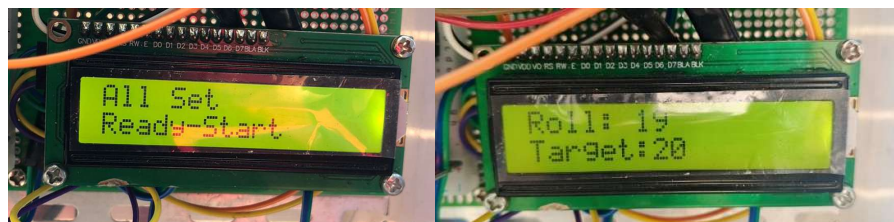


Foto tampilan LCD saat *system start* dan posisi akhir.

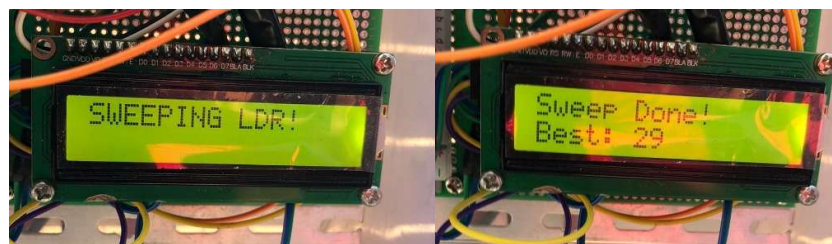


Foto tampilan LCD pada saat *fine tuning* menggunakan *sweeping* $\pm 5^\circ$