

Pemodelan Dan Simulasi Kendali Linear Quadratic Regulator Pada Prototype Solar Tracker Dual- Axis

1st Listya Lokeswara
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
lokeswaraa@student.telkomu
niversity.ac.id

2nd Muh. Zakiyullah
Romdlony
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
zakiyullah@telkomuniversity.
ac.id

3rd Azam Zamhuri Fuadi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
azamzamhurifuadi@telkomu
niversity.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan negara tropis yang menerima pancaran sinar matahari sepanjang tahun. Sebagian besar wilayah Indonesia memiliki rata-rata jangka panjang intensitas cahaya matahari yang potensial untuk menghasilkan listrik setara lebih dari 1.600 kWh per meter persegi. Agar pemanfaatan energi matahari di Indonesia semakin optimal, dibuat sistem pelacak matahari (solar tracker) untuk memaksimalkan produksi listrik dari panel surya. Pada perancangan ini, solar tracker dibuat dengan menggunakan metode kendali Linear Quadratic Regulator (LQR) untuk melacak posisi sudut yang diperlukan panel surya agar dapat selalu mengikuti arah datangnya sinar matahari, sehingga diharapkan menghasilkan nilai efisiensi kinerja panel surya yang lebih besar. Hasil pengujian yang didapatkan menunjukkan bahwa pelacakan posisi sudut dari solar tracker dengan metode kendali LQR ini lebih stabil dan dapat mengikuti arah datang sinar dengan akurasi meningkat 39% bila dibandingkan dengan solar tracker tanpa kendali LQR.

Prototype solar tracker dual-axis ini menggunakan mikrokontroler Arduino Pro Mini 5v untuk menggerakkan 2 servo motor agar panel bergerak mengikuti arah sinar matahari. Selain itu, digunakan 4 buah sensor LDR untuk menerima intensitas cahaya matahari. Dari prototype ini dilakukan pengamatan langsung dan pengambilan data yang kemudian diimplementasikan kendali

LQR dengan input berupa intensitas matahari yang diterima oleh sensor LDR.

Kata Kunci: *Panel surya, Solar Tracker, LQR*

Abstract

Indonesia is a tropical country that receives sunshine throughout the year. Most parts of Indonesia have a long-term average solar intensity that has the potential to generate electricity equivalent to more than 1,600 kWh per square meter. In order to optimize the use of solar energy in Indonesia, a solar tracker system was created to maximize electricity production from solar panels. In this design, the solar tracker is made using the Linear Quadratic Regulator (LQR) control method to track the angular position required for the solar panel so that it can always follow the direction of the sun's rays, so that it is expected to produce a greater efficiency value of solar panel performance. The test results obtained show that tracking the angular position of the solar tracker with the LQR control method is more stable and can follow the direction of the light with an increased accuracy of 39% when compared to the solar tracker without LQR control.

This dual-axis solar tracker prototype uses an Arduino Pro Mini 5v microcontroller to drive 2 servo motors so that the panels move towards the sun. In addition, 4 LDR sensors are used to receive the intensity of sunlight. From this prototype, direct observations and data collection were

carried out which then implemented LQR control to move the servo with input in the

Keywords: *Solar Panel, Solar Tracker, LQR*

I. PENDAHULUAN

Energi matahari merupakan energi terbarukan yang bersih serta tersedia secara bebas dan melimpah di alam. terlebih lagi bagi negara Indonesia yang dilalui oleh garis khatulistiwa menjadikan Indonesia memiliki potensi energi matahari yang cukup tinggi. Indonesia merupakan daerah tropis yang mempunyai sinar matahari yang sangat besar menjadi potensi energi terbarukan dengan iradiasi harian rata-rata 4,5 – 4,8 kWh/m² berdasarkan data yang didapat dari survei pada 8 lokasi yang tersebar di Indonesia[1]. Namun, agar penyerapan energi matahari dapat diterima dengan maksimal maka dibutuhkan sistem yang dapat mengatur peletakkan posisi solar panel agar selalu tegak lurus dengan sinar optimal matahari (Solar Tracking).

Penelitian efisiensi solar panel sudah banyak diteliti, diantaranya penelitian yang telah dilakukan oleh Sidik Susilo [2] mengenai peningkatan efisiensi sistem panel surya solar tracker dengan menggunakan sensor LDR (Light Dependent Resistor) dengan sistem kontrol menggunakan logika kabur (Fuzzy Logic) didapatkan meningkatkan efisiensi kinerja panel surya sebesar 12%. Kemudian Penelitian lain yang dilakukan oleh Debabrata Mazumdar[3] solar tracker dibuat menggunakan system kendali LQR untuk sistem single axis. Penelitian ini menghasilkan efisiensi yang lebih besar dari perancangan solar panel dengan fuzzy logic yaitu sekitar 30%, penelitian ini hanya berupa simulasi MATLAB.

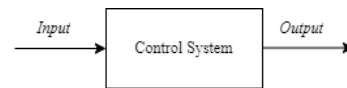
Pada perancangan prototype ini, solar tracking dibuat dengan menggunakan metode Linear Quadratic Regulator (LQR) sistem 2 sumbu untuk melacak posisi sudut yang diperlukan panel surya sehingga diharapkan menghasilkan nilai efisiensi kinerja panel surya yang lebih besar. Pengendalian Panel Surya pada prototype ini menggunakan aplikasi MATLAB untuk dapat mensimulasikan servo motor terhadap sistem penggerak photovoltaic.

II. KAJIAN TEORI

A. Sistem Kendali

Sistem kendali atau kontrol terdiri dari subsistem dan proses (atau pabrik) yang dirakit untuk tujuan memperoleh keluaran yang diinginkan dengan kinerja yang diinginkan, dengan masukan tertentu[8]

form of solar intensity received by the LDR sensor.



Gambar 1 Bentuk Umum Sistem Kendali

Terdapat dua jenis konfigurasi sistem dalam sistem kontrol yaitu:S

- Sistem Loop Terbuka

Sistem ini mempunyai ciri sederhana dimana keluarannya tidak mempengaruhi kontrolnya. Atau tidak adanya umpan balik dalam masukkannya.

- Sistem Loop Tertutup (Kontrol Umpan Balik)

Berbeda dengan loop terbuka sistem kontrol loop tertutup adalah sistem kontrol yang keluarannya mempunyai pengaruh terhadap kontrolnya.

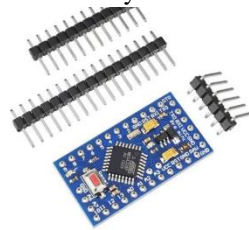
B. Linear Quadratic Regulator (LQR)

LQR merupakan salah satu metode kontrol modern yang dapat diterapkan pada sistem yang direpresentasikan dengan state-space. LQR dikategorikan sebagai metode kontrol optimal dengan mengambil hasil perhitungan yang paling sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Pertimbangan dalam memilih spesifikasi dapat ditentukan oleh kondisi, kendala, dan biaya dari plant tersebut[3]. Kontrol LQR dapat menghasilkan sistem yang optimal karena jika dibandingkan dengan metode pole-placement, pemilihan gain kontrol state-feedback pada kontrol LQR dilakukan secara sistematis. Sehingga lebih mudah untuk melihat kesesuaian antara tuning gain state-feedback dengan tingkah laku sistem.

C. Arduino Mini Pro 5v

Arduino Pro Mini adalah sebuah papan mikrokontroler berbasis ATmega168 yang kemudian ditingkatkan lagi menggunakan ATmega328. Pro Mini memiliki 14 pin digital input/output (yang mana 6 pin digunakan sebagai output PWM), 8 pin input analog, sebuah resonator, sebuah tombol reset, dan lubang-lubang untuk memasang kepala pin. Terdapat 6 kepala pin yang dapat dihubungkan ke kabel FTDI atau ke kabel USB Adapter lainnya untuk memberikan tegangan dari USB dan berkomunikasi antara komputer dengan Arduino Pro Mini. Arduino Pro Mini tidak dapat langsung dihubungkan ke komputer karena Pro Mini tidak memiliki USB Adapter

terintegrasi sehingga para pengguna diwajibkan menyediakan USB Adapter tersendiri. Pro Mini dibuat dengan tujuan sebagai papan yang dipasang didalam objek semi-permanen. Papan Pro Mini pada umumnya dijual tanpa pin kepala yang terpasang pada lubang, hal ini memberikan keleluasaan kepada para penggunanya untuk memasang pin kepala sesuai keinginannya atau bahkan langsung dihubungkan ke kabel. Dipasaran ada 2 versi papan Pro Mini. Jenis pertama yang bekerja pada tegangan 3,3 Volt dengan pewaktu 8 MHz, sedangkan papan lainnya bekerja pada tegangan 5 Volt dengan pewaktu 16 MHz. Dala perancangan ini, digunakan Pro Mini versi 5 volt sebagai kontrolernya.

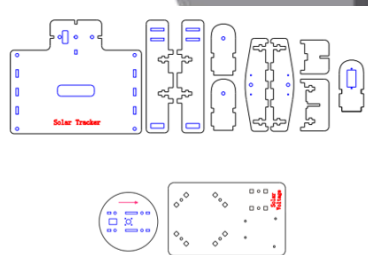


Gambar 2 (Arduino Pro Mini 5v)

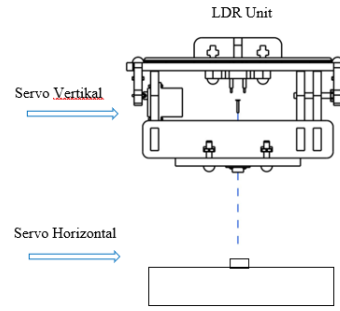
III. METODE

A. Desain Hardware Sistem

Perancangan perangkat keras Prototype Solar Tracker meliputi desain body yang terbuat dari material papan MDF dengan ketebalan 3 dan 6 mm. Pemilihan bahan ini didasari pada karakteristik bahan yang kuat namun juga ringan dan mudah untuk dirangkai. Desain body sistem dipotong mengikuti pola dengan menggunakan mesin laser cutting. Gambar 3 merupakan desain setiap bagian dari body prototype dan Gambar 4 merupakan implementasi desain prototype saat sudah disusun.

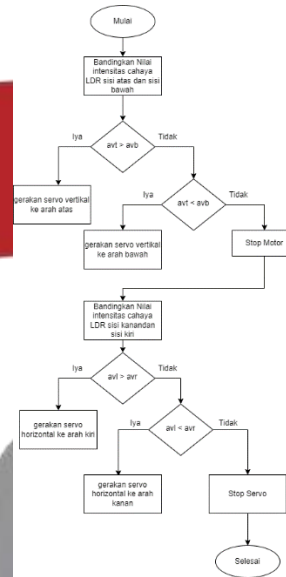


Gambar 3 Desain Body Solar Tracker Sistem



Gambar 4 Desain Perangkat Keras

B. Flowchart Solar tracker Prototype

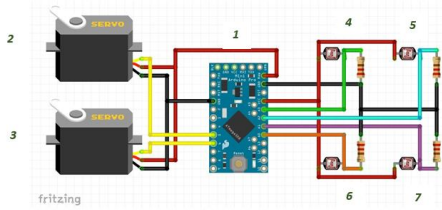


Gambar 5 Flowchart Solar tracker Prototype

Berdasarkan flowchart diatas, Sistem akan dimulai dengan inialisasi seluruh port serial dari sensor yang digunakan. Setelah itu sensor LDR akan mendeteksi sinar yang kemudian akan diambil perbandingan nilai yang diterima pada masing – masing sensor LDR. Jika rata – rata LDR sisi atas (avt) lebih besar dari rata – rata LDR sisi bawah (avb), maka servo vertikal akan bergerak ke atas sehingga nilai rata – rata kedua sisi LDR atas bawah adalah sama. Namun Jika rata – rata LDR sisi atas (avt) lebih kecil dari rata – rata LDR sisi bawah (avb), maka servo vertikal akan bergerak ke bawah sehingga nilai rata – rata kedua sisi LDR atas bawah adalah sama. Begitu pula dengan servo horizontal. Jika rata – rata LDR sisi kanan (avr) lebih besar dari rata – rata LDR sisi kiri (avl), maka servo horizontal akan bergerak ke kanan sehingga nilai rata – rata kedua sisi LDR kanan dan kiri adalah sama. Dan sebaliknya, Jika rata – rata LDR sisi kanan (avr) lebih kecil dari rata – rata LDR sisi kiri (avl), maka servo horizontal akan bergerak ke

kiri sehingga nilai rata – rata kedua sisi LDR kanan dan kiri adalah sama.

C. Skematis Rangkaian Sistem Penggerak Panel Surya



Gambar 6 Skematik Sistem

Keterangan gambar 6 dijelaskan pada Tabel 1 sebagai berikut

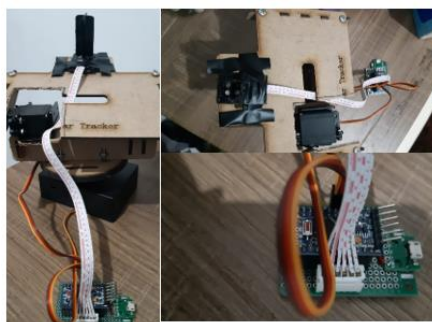
Tabel 1 Keterangan skematik sistem

| No | Keterangan |
|----|---------------------|
| 1 | Arduino Pro Mini |
| 2 | Servo Horizontal |
| 3 | Servo Vertical |
| 4 | LDR 1 (Top Left) |
| 5 | LDR2 (Top Right) |
| 6 | LDR 3 (Bottom Left) |
| 7 | LDR4 (Bottom Right) |

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tugas akhir ini akan dipaparkan hasil pengujian dan analisis dari alat yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan menghitung nilai resistansi dari masing – masing LDR dan kemudian dihitung nilai rata - ratanya. Pengujian dilakukan untuk melihat keberhasilan alat dan respon gerakan solar tracker dalam mengikuti arah datangnya sinar yang dalam pengujian ini digunakan senter dengan minimal kecerahan 40 lux untuk dapat direspon oleh LDR. Kemudian, dilakukan pengambilan data hasil perbandingan LDR terhadap posisi setiap servo

A. Realisasi Alat



Gambar 7 Realisasi Alat Solar Tracker

Pada gambar 7 dapat terlihat hasil realisasi alat yang sudah dirancang oleh penulis. Proses dimulai dari memotong papan MDF mengikuti desain yang telah dibuat, kemudian disusun dan diletakkan sensor LDR yang telah disekat pada bagian atas panel. kemudian memasang kedua servo yang terhubung pada bagian bawah (servo horizontal) dan bagian atas sebagai servo vertikal. Pengujian sistem dilakukan dengan menyinari sensor LDR bagian atas dan mengarahkannya ke segala sisi.

B. Pengambilan Data

Pada perancangan ini diambil data berupa nilai resistansi yang diterima IDR dan posisi pada kedua motor servo. Data ini dijadikan referensi penentuan state space pada kendali LQR. Pada Pengujian tersebut menunjukkan bahwa perubahan nilai yang diterima oleh sensor LDR mempengaruhi posisi pada motor servo, namun terlihat bahwa tidak semua perubahan nilai resistor menyebabkan pergerakan pada motor servo. Hal ini dapat diartikan bahwa solar tracker belum optimal dalam mengikuti arah datang sinar matahari. Oleh sebab itu dari hasil percobaan digunakan fitur Sysid pada Matlab untuk memperoleh state space sistem yang kemudian akan menjadi acuan kendali dengan metode LQR.

C. State space sistem Solar Tracker

Proses pengambilan data diambil melalui data streamer pada excel yang kemudian dicari model persamaan state spacenya menggunakan System Identification untuk mendapatkan persamaan sistemnya.

Dengan menggunakan data streamer diambil nilai posisi dari masing masing servo berdasarkan perbedaan nilai yang diterima oleh LDR. Kemudian data tersebut di unggah ke dalam Matlab dan diubah ke dalam bentuk array, lalu di upload ke dalam system identification. Dari data input dan output tersebut didapatkan state spacenya sebagai berikut :

$$\frac{dx}{dt} = A x(t) + B u(t) + K e(t) \quad (1)$$

$$y(t) = C x(t) + D u(t) + e(t) \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0.172 & -0.2445 \\ 0.4654 & -0.6749 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.001784 & 0.001299 \\ 0.003855 & 0.00428 \end{bmatrix} \quad (4)$$

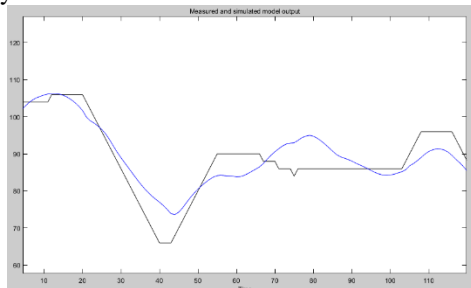
$$C = \begin{bmatrix} -119.3 & 127.8 \\ -149.7 & -31.22 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$(6)$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

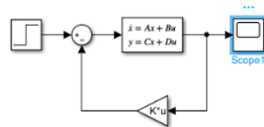
$$K = \begin{bmatrix} -0.007907 & -0.03797 \\ -0.04419 & -0.03469 \end{bmatrix}$$

Dari data tersebut menghasilkan estimasi kecocokan data yang didapatkan pada system identification sebesar 86%.



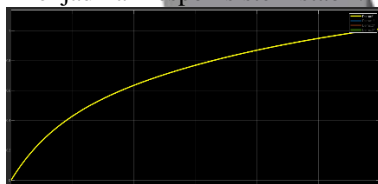
Gambar 8 Step Response

Setelah mendapatkan model state spacenya selajutnya pada penelitian ini yang dilakukan yaitu merancang kendali LQR menggunakan simulink pada matlab.



Gambar 9 Perancangan Simulink

Dengan nilai awal matriks Q berupa matriks identitas dan R =0.01, didapatkan respon kendali LQR seperti pada Gambar 9 terlihat bahwa nilai kendali yang ditetapkan belum menjadikan respon sistem stabil.



Gambar 10 Respon LQR dengan matriks Q identitas

D. Improvisasi nilai Q

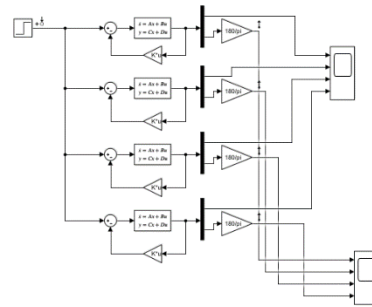
Oleh karena itu diperlukan variasi nilai Q dan R untuk mendapatkan respon sistem terbaik dari state space yang diperoleh pada perancangan ini. Beberapa nilai Q yang dipilih adalah sebagai berikut :

$$Q1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times 20$$

$$Q2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times 100$$

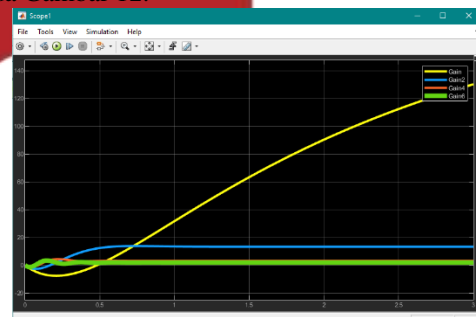
$$Q3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times 200$$

Maka dari hasil pemilihan nilai Q tersebut dilakukan improvisasi pada simulasi simulink seperti pada Gambar 11



Gambar 11 Improvisasi Perancangan Simulink

Perancangan Simulink pada Gambar 11 menunjukkan state space diberikan feedback berbeda dengan perbedaan nilai Q yang sudah ditentukan sebelumnya dan didapatkan respon sistem untuk masing – masing nilai Q seperti pada Gambar 12.



Gambar 12 Respon sisten terhadap variasi nilai Q

Keterangan Gambar :

Garis Kuning = Respon sistem tanpa LQR

Garis Biru = Respon sistem dengan variasi nilai Q1

Garis Oranye = Respon sistem dengan variasi nilai Q2

Garis Hijau = Respon sistem dengan variasi nilai Q3

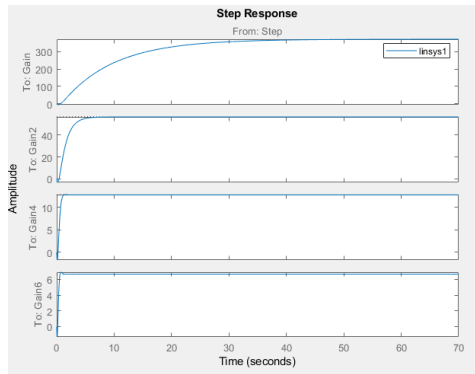
Dengan melakukan variasi pada nilai Q dan R untuk kendali tersebut, didapatkan bahwa untuk mengoptimalkan sistem kendali dipilih :

$$Q = \begin{bmatrix} 200 & 0 \\ 0 & 200 \end{bmatrix}$$

$$R = 0,01$$

Didapatkan hasil respon sistem kendali LQR pada Gambar 13. hasil respon terbaik yang didapatkan pada step response dengan nilai Q = 200 antara lain :

| | |
|---------------|----------|
| Peak Ampilute | : 6,91 |
| Overshoot | : 3,59% |
| Rise Time | : 0,281s |
| Settling Time | : 0,889s |
| Final Value | : 6,67 |



Gambar 12 Respon Kendali LQR

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa sistem solar tracker dual axis, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem penggerak telah dapat menggerakkan panel photovoltaic agar selalu tegak lurus dengan arah datangnya sinar matahari dengan rentang 30° - 150° .
2. System tanpa kendali LQR tidak stabil sehingga menyebabkan perubahan posisi pada motor servo tidak stabil dan akurat dalam mengikuti sinar matahari.
3. Simulasi sistem kendali Linear Quadratic Regulator (LQR) pada *prototype solar tracker dual axis* menjadikannya lebih baik dan responsif dalam mengikuti arah datangnya sinar dan mampu mencapai kestabilan kurang dari 1 detik.

B. Saran

1. Pengembangan pada rancangan desain prorotype dibuat agar lebih rapih dan akurat sehingga kinerja sensor tidak terganggu.
2. Pengembangan pada alat dapat ditambahkan dengan modul solar sensor untuk riset dan pengambilan daya .

REFERENSI

- [1] A. G. Hutajulu, M. R. T. Siregar, and M. P. Pambudi, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) On Grid di Ecopark Ancol," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, pp. 23–33, 2020.
- [2] S. Susilo, "Perancangan Solar Tracker Sebagai Peningkatan Efisiensi Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya Dengan Menggunakan Logika Kabur (Fuzzy Logic)," 2012.
- [3] D. Mazumdar, D. Sinha, S. Panja, and D. K. Dhak, "Design of LQR controller for solar tracking system," in *2015 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*, 2015, pp. 1–5.
- [4] O. C. O. A. Shahin, "A PV solar tracking system controlled by Arduino/Matlab/Simulink," *Int. J. Tech. Phys. Probl. Eng.*, vol. 6, no. 4, 2014.
- [5] A. Adhim, "PID Auto Tuning Menggunakan PSO Pada Sistem Fotovoltaik Penjejak Matahari Dua-Sumbu." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [6] D. L. Pangestuningtyas, H. Hermawan, and K. Karnoto, "Analisis pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi matahari yang diterima oleh panel surya tipe larik tetap," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 4, pp. 930–937, 2014.
- [7] S. Nurharsanto and A. Prayitno, "Sun Tracking Otomatis Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)," *J. FTEKNIK*, vol. 4, 2017.
- [8] K. Ogata and Y. Yang, *Modern control engineering*, vol. 4. Prentice hall India, 2002.
- [9] S. Utama and N. U. Putri, "Implementasi Sensor Light Dependent Resistor (LDR) Dan LM35 Pada Prototipe Atap Otomatis Berbasis Arduino," *CIRCUIT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, 2018.
- [10] W. S. Levine, *The Control Handbook (three volume set)*. CRC press, 2018.
- [11] F. L. Lewis, D. Vrabie, and V. L. Syrmos, *Optimal control*. John Wiley & Sons, 2012.
- [12] B. D. O. Anderson and J. B. Moore, *Optimal control: linear quadratic methods*. Courier Corporation, 2007.