

## ALAT PENJEMUR KOPI DENGAN KENDALI LQR-PID

Anggara Trisna Nugraha<sup>1</sup>, Muhammad Fikri Fathurrohman<sup>2</sup>, Salsabila Ika Yuniza<sup>3</sup>, Fortunaviaza Habib Ainudin<sup>4</sup>, Diego Ilham Yoga Agna<sup>5</sup>

Teknik Kelistrikan Kapal, Program Studi D4 Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, ITS Sukolilo, JL. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota SBY, Jawa Timur 60111

E-mail: [anggaranugraha@ppns.ac.id](mailto:anggaranugraha@ppns.ac.id)

### ABSTRAK

Indonesia merupakan negara penghasil biji kopi terbesar ketiga di dunia karena letak Indonesia yang ideal untuk iklim pertumbuhan dan produksi kopi. Salah satu proses pengolahan biji kopi yang terpenting adalah proses pengeringan karena sangat menentukan kualitas biji kopi. Dalam penelitian ini, fokusnya adalah memaksimalkan proses pengeringan melalui mekanisme sun tracking system. Pada umumnya sistem penjejak matahari digunakan untuk mendapatkan sinar matahari yang maksimal melalui pengontrolan posisi tray agar selalu mengikuti pergerakan posisi matahari. Sistem yang dibangun terdiri dari sistem mekanik dan sistem kelistrikan. Metode kontrol yang digunakan pada sistem ini adalah dengan menggunakan kontrol LQR dan PID. Dimana hasil eksperimen akan dibandingkan kontroler mana yang terbaik.

**Kata Kunci:** kontrol, LQR, PID

### ABSTRACT

Indonesia is the third largest country that produces coffee beans in the world because Indonesia's location is ideal for the climate for coffee growth and production. One of the most important coffee bean processing is the drying process because it determines the quality of the coffee bean. In this study, the focus is on maximizing the drying process through the mechanism of the sun tracking system. In general, a sun tracking system is used to get maximum sunlight through controlling the position of the tray so that it always follows the movement of the sun's position. The system built consists of a mechanical system and an electrical system. The control method used in this system is to use LQR and PID control. Where the experimental results will be compared which controller is the best.

**Keyword :** controller, LQR, PID

## 1. PENDAHULUAN

Kopi merupakan jenis minuman yang penting bagi kebanyakan orang di seluruh dunia. Bukan hanya karena kenikmatan peminum kopi, tetapi juga karena nilai ekonomi bagi negara yang memproduksi dan mengeksport biji kopi, salah satunya Indonesia. Kopi Indonesia saat ini menduduki peringkat ketiga terbesar di dunia dalam hal produksi. Kopi di Indonesia memiliki sejarah yang panjang dan memiliki peran penting bagi pertumbuhan ekonomi masyarakat di Indonesia. Indonesia diberkahi dengan letak geografis yang sangat cocok untuk difungsikan sebagai perkebunan kopi. Lokasi Indonesia sangat ideal untuk iklim mikro untuk pertumbuhan dan produksi kopi.[1] Proses pengolahan produksi biji kopi mentah (dipetik dari pohon) menjadi kopi bubuk bercita rasa tinggi melibatkan serangkaian kegiatan yang melibatkan: berkelanjutan. Setiap tahapan kegiatan dilakukan secara terpisah dan menggunakan peralatan yang berbeda dengan sistem operasi yang terpisah, namun berpotensi untuk saling terintegrasi. Tahap awal adalah proses pemetikan biji kopi dari pohon kopi

yang dilakukan oleh petani kopi secara manual. Tahapan selanjutnya dilakukan secara berurutan, yang dapat dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu pengolahan kopi primer dan pengolahan kopi sekunder [2]. Pengolahan kopi primer secara berurutan adalah proses pengeringan tahap pertama hingga mencapai kadar air 25%, proses pengupasan kulit buah, pengeringan tahap kedua sehingga kadar air 12,5% dan penyortiran. proses [3]. Sedangkan proses pengolahan kopi sekunder adalah penyangraian, pendinginan, penggilingan menjadi ampas kopi, pengemasan dan pengolahan pengemasan serta pemasaran.

Salah satu proses pengolahan biji kopi yang paling penting dan krusial adalah proses pengeringan karena hasil dari proses pengeringan akan menentukan kualitas biji kopi untuk proses selanjutnya, termasuk mengolah biji kopi menjadi kopi bubuk. Setelah biji kopi dikeringkan hingga mencapai kadar air 12,5%, proses selanjutnya adalah pengolahan menjadi kopi bubuk. Sedangkan di Indonesia masih menggunakan proses tradisional yaitu dengan memanfaatkan hanya satu arah terkena

sinar matahari sedangkan matahari bergerak dari timur ke barat. Oleh karena itu, laporan ini dibuat untuk membantu proses penjemuran biji kopi agar lebih optimal dengan menggunakan motor DC sebagai alat untuk menggerakkan alas pengering agar bersentuhan langsung dengan matahari.

## 2. PEMBAHASAN

### 2.1 Linear Quadratic Regulator (LQR)

Linear Quadratic Regulator (LQR) merupakan salah satu metode kontrol optimal pada sistem berbasis state space. Linear Quadratic Regulators sering digunakan di berbagai bidang, misalnya dalam industri, robotika, dan bidang teknik lainnya. Keuntungan dari metode ini adalah dapat memberikan solusi optimal untuk sistem masalah kontrol yang didefinisikan dalam ruang keadaan. Karena berbasis ruang keadaan, LQR. Metode ini dapat dengan baik mengatasi masalah pengendalian pada sistem Multi Input Multi Output (MIMO). Kontroler LQR memiliki dua buah parameter yaitu matriks bobot Q dan R yang harus ditentukan sehingga menghasilkan aksi kontrol yang optimal sesuai dengan yang diharapkan. Tidak seperti kontroler Proportional-Integral-Derivative (PID) yang memiliki metode tuning dengan pendekatan sistematis seperti Ziegler-Nichols dan Cohen-Coon, kontroler LQR tidak memiliki metode tuning khusus secara sistematis untuk menentukan matriks bobot Q dan R.

Dimana Q adalah suatu matriks simetris berdefinisi positif, positif-setengah, atau real dan R adalah matriks simetris berdefinisi positif atau real. Matriks dan utranspos konjugasi dari matriks x dan u. Transpos konjugasi (sering juga disebut matriks adjoint atau transpos hermitian) dari suatu matriks diperoleh dengan mencari matriks transpos dan kemudian mencari kompleks konjugat dari setiap elemen matriks. Perlu dicatat bahwa bagian kedua di sebelah kanan persamaan menunjukkan perhitungan energi dari sinyal kontrol keluaran. Q dan R. pembobotan matriks menentukan kepentingan relatif dari kesalahan ini dan pengeluaran energi. Dalam hal ini, diasumsikan bahwa vektor kendali  $u(t)$  tidak dikendalikan. Jika diperoleh elemen matriks K yang dapat meminimalkan indeks kinerja, maka  $u(t) = -Kx(t)$  akan optimal untuk setiap keadaan awal  $x(0)$ .

### 2.2 Proportional Integral Derivative (PID)

Sistem kendali PID (Proportional Integral Derivative) merupakan pengontrol untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik umpan balik pada sistem tersebut. Kontrol PID sistem terdiri dari tiga pengaturan, yaitu

kontrol P (Proporsional). D (Derivative) dan I (Integral), dengan masing-masing memiliki kekurangan dan kelebihan. Dalam pelaksanaannya, masing-masing metode dapat bekerja secara mandiri atau gabungan. Dalam merancang sistem kendali PID yang perlu dilakukan adalah: mengatur parameter P, I atau D agar respon sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sesuai dengan yang diinginkan.

### 2.3 Sensor

LDR atau Light Dependent Resistor adalah sensor yang dapat mendeteksi sinar matahari dalam bentuk intensitas yang akan mempengaruhi nilai resistansi. Besar kecilnya nilai hambatan LDR tergantung dari besarnya sinar matahari yang diterima oleh LDR tersebut. Jika intensitas yang diterima besar maka hambatan yang dihasilkan akan kecil, sebaliknya jika intensitas yang diterima kecil maka hambatan yang dihasilkan besar (Supatmi, 2011). LDR ini dirangkai dengan rangkaian pembagi tegangan dengan R1 yang tetap, R2 adalah LDR sehingga nilai tegangan akan berbanding lurus dengan intensitas. Semakin besar intensitas yang diterima maka semakin besar pula tegangan yang akan dihasilkan, begitu pula sebaliknya semakin kecil intensitas yang dihasilkan maka semakin kecil pula tegangan yang dihasilkan. Light Dependent Resistor (LDR) terbuat dari CDS (Cadmium Sulfida) [1]. LDR biasanya digunakan sebagai rangkaian pembagi tegangan, sehingga akan diperoleh tegangan yang berbanding lurus dengan intensitas cahaya matahari. Pada rangkaian pembagi tegangan terdapat resistor tetap dan resistor variabel. Berikut ini adalah gambar rangkaian pembagi tegangan dan LDR.

### 2.3 Motor DC Motor

listrik adalah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Prinsip kerja mesin ini didasarkan pada teori Hukum Lorentz yang menyatakan bahwa ketika suatu penghantar yang dialiri arus listrik berada pada daerah yang mengandung medan magnet, penghantar tersebut akan mengalami gaya tarik menarik yang arahnya tegak lurus dengan arah arus. dan medan magnet. Motor DC membutuhkan suplai tegangan DC searah dengan kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika kumparan armature bagian dalam berputar dalam medan magnet, maka akan terjadi tegangan (ggl) yang berubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja arus searah adalah membalik fasa tegangan gelombang yang bernilai positif menggunakan komutator, sehingga arus dibalik dengan kumparan armature yang berputar

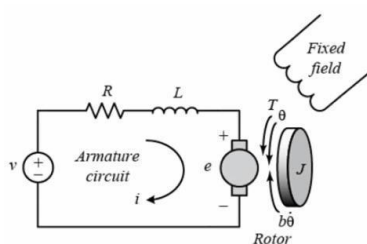
dalam medan magnet. Bentuk motor yang paling sederhana memiliki kumparan belitan tunggal yang dapat berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen. Pasokan tegangan dc dari baterai menuju belitan melalui sikat yang menyentuh komutator, yang dua segmennya terhubung ke kedua ujung belitan. Kumparan satu putaran pada gambar di atas disebut armature armature. Dinamo dinamo adalah istilah untuk komponen yang berputar di antara medan magnet.

### 3. METODE

#### 3.1 Desain Alat

Pada tahap desain alat, diagram blok fungsional dari rangkaian yang direncanakan dibuat. Perancangan mekanik dilakukan sesuai dengan rancangan agar lebih mudah dalam pembuatannya. Perancangan rangkaian dilakukan pada setiap blok untuk memudahkan perancangan dan penentuan nilai komponen yang digunakan. Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan membuat diagram alir untuk program utama dan sub program. Bagian-bagian alat yang akan dirancang adalah: sensor cahaya, alas pengereng, dan motor DC.

#### 3.2 Pemodelan Sistem



Gambar 1. Pemodelan Sistem

Karena alat ini merupakan implementasi dari kontrol posisi motor DC, maka digunakan rangkaian motor dc untuk melakukan pemodelan. Ada dua bagian yang akan dianalisis dalam rangkaian ini, yang pertama adalah sistem kelistrikan dan yang kedua adalah sistem motor DC, mengapa yang dibahas adalah sistem elektronik. Menurut hukum Kirchhoff, arus total yang masuk ke rangkaian sama dengan arus total yang keluar.

#### 3.3 Simulasi Matlab dan Simulink

- Script

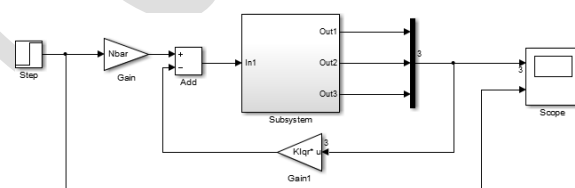
```
%Parameter
R = 3;
L = 3;
b = 0,1;
K = 0,1;
J = 0,1;
```

```
%Statespace
A = [0 1 1 ; 0 -b/JK/J ;
0 -
K/L -r/L];
B = [0;0;1/L];
C = [1 0
0];
D = 0;

%LQR
Q = [1000 0 0 ; 0 10
0 ; 00
0];
R = 0,01;
Klqr = lqr(A,B,Q,R);
```

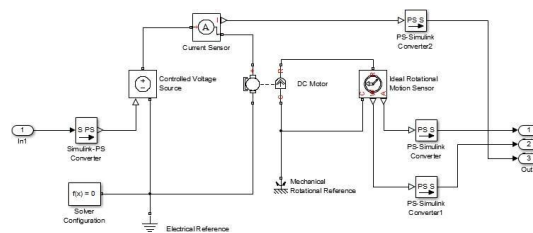
#### 3.4 Sistem Dimodelkan Menggunakan

- Model Motor DC



Gambar 2. Diagram Blok Motor DC.

- Subsystem Motor DC

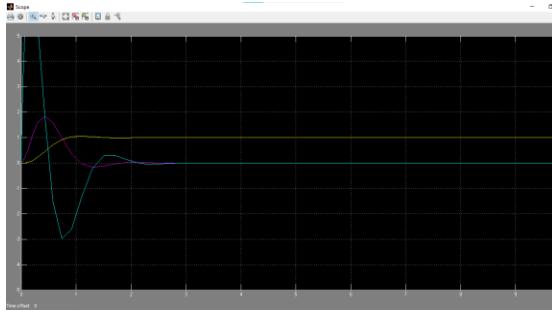


Gambar 3. Subsystem Motor DC.

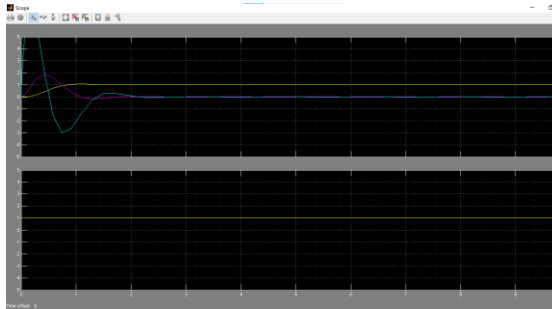
## 4. HASIL PENELITIAN

### 4.1 Kontrol LQR

Input input pada scope menghasilkan respon yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini, kita dapat membandingkan grafik respon sistem yang dihasilkan terhadap input. Sistem telah memberikan respon yang cukup cepat dan dapat mencapai keadaan stabil dalam waktu kurang dari 2 detik.

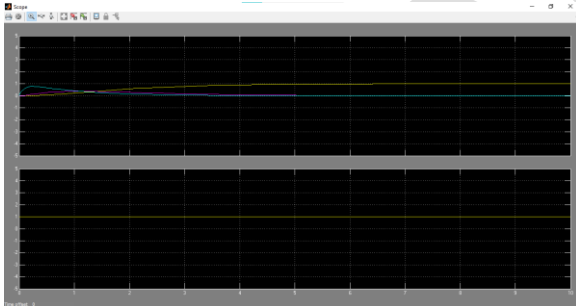


Gambar 4. Kontrol LQR



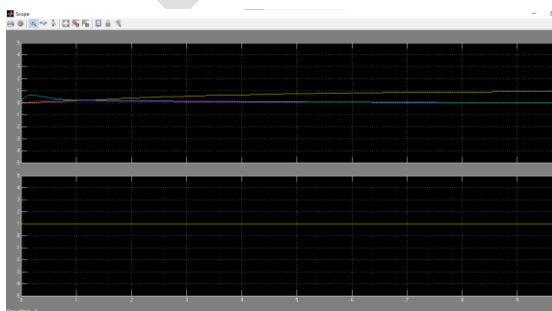
Gambar 5. Kontrol LQR

Kemudian kita akan mencoba memvariasikan nilai matriks Q dan R untuk membentuk kontrol LQR. Variasi pertama dari matriks Q adalah  $[10 \ 0 \ 0 ; 0 \ 10 \ 0 ; 0 \ 0 \ 10]$ . Dari grafik respon yang dihasilkan terlihat bahwa respon sistem semakin lambat.



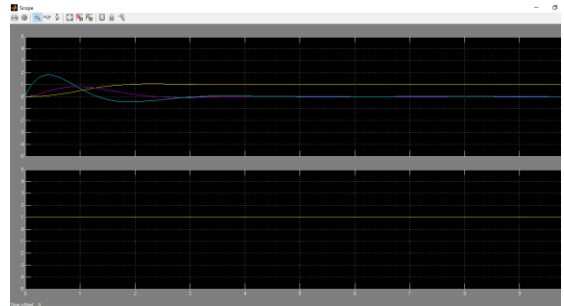
Gambar 6. Variasi pertama dari matriks Q

Kemudian untuk variasi kedua dari matriks Q digunakan nilai  $[10 \ 0 \ 0 ; 0 \ 100 \ 0 ; 0 \ 0 \ 10]$ . Grafik respon yang dihasilkan dari variasi nilai Q ini menunjukkan bahwa respon semakin buruk yang tidak mencapai kestabilan bahkan sampai 10 detik.



Gambar 7. Variasi kedua matriks Q

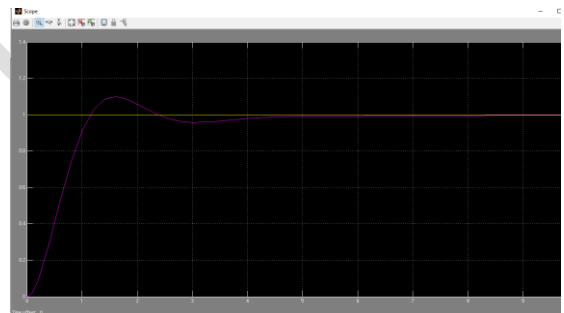
Kemudian untuk selanjutnya kita akan melakukan variasi nilai R. dimana nilai R diubah menjadi 1. Dari grafik yang dihasilkan terlihat bahwa respon sistem tidak sesuai secepat respon sistem saat menggunakan nilai  $R = 0,01$ .



Gambar 8. Matriks Variasi R

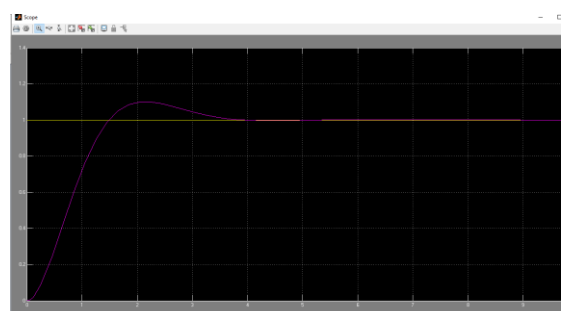
## 4.2 Kontrol

Pada kontrol PID, metode trial and error digunakan dalam menentukan parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Untuk pengambilan data pertama menggunakan data  $K_p = 15$ ,  $K_i = 10$ ,  $K_d = 2$ . Dan diperoleh grafik seperti gambar dibawah ini. Dari grafik terlihat bahwa respon telah mencapai set point, namun masih menghasilkan osilasi dan undershoot. Sehingga dapat dikatakan masih labil.



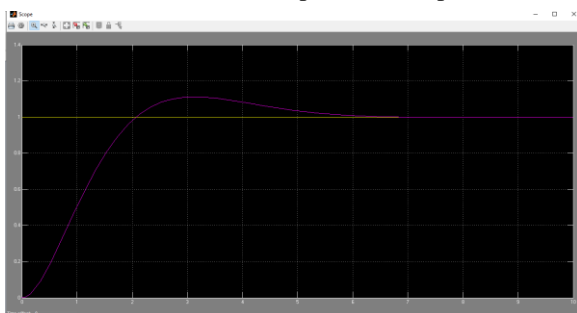
Gambar 9.  $K_p = 15$ ,  $K_i = 10$ ,  $K_d = 2$

Untuk percobaan kedua nilai  $K_p = 10$ ,  $K_i = 5$ ,  $K_d = 2$ . Dari hasil respon terlihat bahwa respon sudah mencapai set point, tidak menghasilkan osilasi atau undershoot dan telah mencapai kestabilan pada detik ke-4.



Gambar 10.  $K_p = 10$ ,  $K_i = 5$ ,  $K_d = 2$

Untuk percobaan kedua nilai  $K_p = 6$ ,  $K_i = 4$ ,  $K_d = 2$ . Dari hasil respon terlihat bahwa respon sudah mencapai set point, tidak menghasilkan osilasi atau undershoot dan telah mencapai stabilitas pada 7 detik.



Gambar 11.  $K_p = 6$ ,  $K_i = 4$ ,  $K_d = 2$

## 5. KESIMPULAN

Pada mesin pengering biji kopi itu sendiri, nilai sensor menjadi nilai set point. Motor DC akan mengatur posisi sehingga nilai yang terbaca oleh sensor akan konstan. Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa:

- Dengan menggunakan kontrol LQR atau PID, sistem mampu menghasilkan respon yang stabil.
- Menggunakan kontrol PID, respon terbaik ditunjukkan pada Gambar 6.  $K_p = 10$ ,  $K_i = 5$ ,  $K_d = 2$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saputra, wahana.2008.Rancang Bangun Solar Tracking System untuk Mengoptimalkan Penyerapan Energi Matahari pada Solar Cell.Skripsi Universitas Indonesia. Depok
- [2] Aisyah, N. (2017). RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN NAMPAN PENGERING BIJI KOPI SATU SUMBU PADA MESIN PENGERING BIJI KOPI BERBASIS PENJEJAK MATAHARI AKTIF DENGAN MIKROKONTROLLER ATMEGA 16. Skripsi Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- [3] Astrom K. Hagglund, *Pengendali PID : Teori Desain Dan Tuning*. Penelitian Taman Segitiga, Instrumen Masyarakat, 1995
- [4] Angga, Anggara Trisna Nugraha, dkk. "Solusi Untuk Mencegah Faktor Daya Tumbuh Reaktif.
- [5] Tarif Listrik Dan Menurunkan Hangat Pada Pemasangan Dengan Kapasitor Bank." Teknologi Terapan dan Jurnal Sains Komputasi 4.1 (2021): 35-46.
- [6] Febrianto, Roby, dan Anggara Trisna Nugraha. "PERANCANGAN BATTERY CHARGER MENGGUNAKAN ENERGI PENGGERAK MIKRO HIDRO BERBASIS ARDUINO UNO." Seminar MA MASTER PPNS. Jil. 6. No. 1. 2021.
- [7] Fitzgerald, AE, Charles kingsley Jr.,Stephen D. Umans, 1996. Mesinmesin Listrik, Edisi keempat, terjemahan Djoko Achyanto Msc. EE. Erlangga, 1989.
- [8] heraja, BL, Unsur Teknik Elektro dan Mesin, Ram, Nagar, New Delhi 1984.
- [9] Jacob M. Ph.D, CC Halkias, Ph.D, Elektronika Terpadu, Penerbit Erlangga, 1990.
- [10] Kenjo, T., Power Electronics For The Microprosesor Age, Amerika Serikat Oleh Oxford University Press Inc., New York 1995.
- [11] M Agus Praztyio Elektronika Dasar (2016).
- [12] Malvino, Barmawi. PrinsipPrinsip Elektronika, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta 1996.
- [13] Nugraha, Anggara Trisna, Moch Fadhil Ramadhan, dan Muhammad Jafar Shiddiq. "DESAIN ALARM KEBAKARAN BERBASIS PANEL TERDISTRIBUSI." JEEMECs (Jurnal Teknik Elektro, Mekatronika dan Ilmu Komputer) 5.1 (2022).
- [14] Petruzella, FD Elektronika Industri, Penerbit Audi Offset, Yogyakarta 2001.
- [15] Priyambodo, Dadang, dan Anggara Trisna Nugraha. "Merancang dan Membangun Pembangkit Listrik Turbin Fotovoltaik dan Vertikal Savonious Sebagai Catu Daya Alternatif untuk Membantu Menghemat Energi di Gedung Pencakar Langit." Jurnal Elektronika, Teknik Elektromedis, dan Informatika Medis 3.1 (2021): 57-63.
- [16] Putra, Muhammad Dwi Hari, dan Anggara Trisna Nugraha. "RANCANG BANGUN BATTERY CHARGER DENGAN SISTEM CONSTANT VOLTAGE BERBASIS KONTROL PI." Seminar MA MASTER PPNS. Jil. 6. No. 1. 2021.
- [17] Rasyid, MH, Elektronika Daya, Edisi bahasa Indonesia, PT. Prenhallindo, Jakarta 1999.
- [18] Realdo, Adam Meredith, Anggara Trisna Nugraha, dan Shubhrojot Misra. "Perancangan dan Pengembangan Sistem Manajemen Penggunaan Tenaga Listrik Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Berbasis Algoritma Pohon Keputusan". Jurnal

- Elektronika, Teknik Elektromedis, dan Informatika Medis Indonesia 3.4 (2021): 179-184.
- [19] Ruddianto, Ruddianto, dkk. "Rancangan Praktikum Eksperimen Sistem Pemantauan dan Kontrol Mesin Bantu Laut." *Jurnal Elektronika, Teknik Elektromedis, dan Informatika Medis Indonesia* 3.4 (2021): 148-155.
- [20] SK Sahdev, *Mesin Listrik* (2019).
- [21] Sanjeev Singh, *Pemodelan, Simulasi dan Kontrol Penggerak Listrik* (2019).
- [22] Scholothem, Gv, *Power Electronics*, Ley Bold Didactic Gambh 1992.
- [23] Sen, PC, *Prinsip-prinsip Mesin Listrik dan Elektronika Tenaga*, John Wiley & Sons, Kanada 1987.
- [24] Shiddiq, Muhammad Jafar, Moch Fadhil Ramadhan, dan Anggara Trisna Nugraha. "PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI BAYU KINCIR SAVONIUS GUNA MEWUJUDKAN PEMANFAATAN ENERGI TERBARUKAN PADA JEMBATAN SURAMADU." *Seminar MA MASTER PPNS*. Jil. 6. Nomor 1. 2021.