

Pengembangan Sistem Kontrol Pintu Otomatis Dan Pergerakan Robot Berbasis Internet Of Things (IoT) Pada Robot Pengantar Makanan

Nidya Intani Dwi Saka Putri

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

nidyaintanii@student.telkomuniversity.ac.id

Erwin Susanto

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

erwinelektro@telkomuniversity.ac.id

Irham Mulkan Rodiana

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

irhammulkan@telkomuniversity.ac.id

Perkembangan teknologi robotika memberikan peluang untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas layanan, salah satunya melalui robot pengantar makanan dengan kemampuan membuka pintu otomatis. Sistem ini dirancang untuk mengatasi masalah kebersihan, efisiensi, dan akurasi dalam pengantaran makanan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kontrol berbasis Internet of Things (IoT) untuk mengoptimalkan mobilitas robot serta meningkatkan efisiensi kontrol pintu otomatis. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pintu otomatis berbasis kontrol PID dengan menggunakan rotary encoder sebagai sensor posisi. Limit switch digunakan sebagai pengaman tambahan agar pintu dapat berhenti tepat di batas akhir dan mencegah kerusakan mekanik. Selain itu, sistem dilengkapi komunikasi dua arah antara modul kontrol, serta integrasi teknologi Internet of Things (IoT) agar status pintu dapat dipantau dan dikendalikan secara jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi parameter kontrol PID yang optimal dapat menghasilkan gerakan pintu yang presisi. Sistem ini juga terbukti stabil dan responsif, sehingga mampu mendukung proses pengantaran makanan dengan aman, efisien, dan tetap menjaga kualitas makanan agar higienis. Dengan adanya pintu otomatis yang terintegrasi dengan IoT, robot pengantar makanan menjadi lebih andal, modern, dan memberikan kenyamanan lebih bagi pengguna.

Kata Kunci: IoT, kontrol PID, pintu otomatis, rotary encoder, Robot pengantar makanan.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pesatnya perkembangan teknologi robotika telah meningkatkan peran robot dalam menunjang aktivitas manusia, termasuk di sektor pelayanan kafe dan restoran [1]. Berbagai inovasi kini memungkinkan terciptanya solusi yang mempermudah operasional bisnis kuliner, salah satunya adalah pengembangan robot pengantar makanan dengan kemampuan membuka pintu secara otomatis. Teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pelayanan sekaligus menjaga kebersihan serta kualitas makanan yang disajikan kepada pelanggan [2].

Dalam operasional kafe, penggunaan tenaga manusia untuk mengantar makanan sering kali menghadapi beberapa kendala, seperti keterbatasan tenaga kerja, potensi kesalahan dalam pengantaran, serta masalah kebersihan karena adanya kontak langsung dengan lingkungan sekitar. Hal ini dapat

berdampak pada kepuasan pelanggan sekaligus meningkatkan biaya operasional bagi pemilik kafe [3].

Untuk mengatasi tantangan tersebut, perlu dilakukan penelitian mengenai pemilihan komponen mekanik yang tepat, terutama untuk sistem pintu otomatis pada robot pengantar makanan. Sistem ini dirancang menggunakan mekanisme lazy susan yang dilengkapi dengan worm gear agar pintu dapat bergerak memutar dengan konsisten dan halus, sesuai dengan kebutuhan pelayanan di lingkungan kafe yang dinamis.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa masih terdapat kekurangan pada desain pintu otomatis, seperti belum optimalnya mekanisme pergerakan, desain pintu yang tidak menyesuaikan kebutuhan, serta kontrol yang belum sepenuhnya otomatis. Hal ini menyebabkan sistem pintu belum mampu memberikan perlindungan maksimal terhadap makanan dari paparan lingkungan, sehingga kebersihan dan sterilisasi belum optimal [2].

B. Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian Tugas Akhir ini adalah

- Robot mampu mengantarkan dan menghidangkan makanan dengan aman dan steril kepada pelanggan dengan kemampuan sistem mekatronik yang baik. Dengan demikian proses pengantaran makanan pada restoran, kafe atau kantin akan lebih efektif dan efisien.
- Mampu mengembangkan sistem kontrol pintu otomatis menggunakan kontrol PID dan dapat memonitoring pintu berbasis Internet of Things (IoT), sehingga dapat meningkatkan efisiensi monitoring dan kontrol pintu.

II. KAJIAN TEORI

A. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah jaringan perangkat yang saling terhubung melalui internet dan mampu berkomunikasi satu sama lain. Konsep IoT mencakup integrasi sensor, perangkat keras, perangkat lunak, serta koneksi internet, sehingga memungkinkan berbagai objek saling terhubung dan berinteraksi dalam suatu infrastruktur digital. Objek-objek tersebut dapat mengirim dan menerima data, mengambil keputusan berdasarkan informasi yang diperoleh, serta berinteraksi untuk mencapai tujuan tertentu [3], [4].

B. Kodular

Kodular adalah platform berbasis web yang menyediakan alat serupa dengan MIT App Inventor untuk merancang aplikasi Android menggunakan block programming. Keunggulan Kodular terletak pada fitur komponen palet yang lebih kompleks, dukungan plugin monetisasi bawaan, dan kemudahan penggunaan tanpa perlu menginstal perangkat lunak tambahan. Pengguna hanya memerlukan web browser untuk mengetik parameter pada program blocks tanpa harus menulis kode dari awal [6].

C. Robotika

Robot dibuat untuk berinteraksi dengan lingkungan dan menyelesaikan pekerjaan yang rumit, berisiko, atau bersifat berulang yang umumnya dilakukan manusia. Bentuk dan ukurannya beragam, mulai dari robot humanoid yang menyerupai manusia hingga robot industri berskala besar dan kompleks. Secara umum, robot terdiri atas beberapa komponen utama, seperti perangkat keras (sensor, aktuator, dan sistem penggerak), perangkat lunak (pengatur perilaku dan tugas robot), serta sistem pemrosesan data (yang memungkinkan penerimaan, analisis, dan respons terhadap informasi dari lingkungan). Pemanfaatan robot mencakup berbagai bidang, seperti industri, militer, kesehatan, pertanian, eksplorasi luar angkasa, hingga keperluan rumah tangga [4].

D. BellaBot

BellaBot adalah robot pelayan pintar yang dikembangkan oleh Pudu Robotics, dirancang untuk membantu pengantaran makanan atau barang di restoran, hotel, atau tempat layanan lainnya. BellaBot mampu mengantarkan makanan atau barang secara otomatis, menghindari rintangan, dan mengantarkan barang dengan presisi. Robot ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi operasional dan memberikan pengalaman unik dan menyenangkan bagi pelanggan [8], [9].

E. Mekanisme Lazy Susan

Lazy Susan, yang juga dikenal sebagai meja putar, adalah perangkat berbentuk lingkaran yang bergerak memutar di atas bantalan. Alat ini biasa diletakkan di meja makan atau dapur untuk memudahkan penyajian makanan. Di samping fungsinya di meja, Lazy Susan juga dipasang di lemari dapur untuk meningkatkan kemudahan akses penyimpanan. Cukup dengan satu putaran, semua barang di atasnya dapat dijangkau dengan mudah. Material pembuatannya beragam, mulai dari kayu, plastik, kaca, marmer, baja anti karat, Gambar 2. 1 Robot BELLABOT 9 hingga kawat. Pemilihan desainnya disesuaikan dengan tipe pintu, posisi lemari, dan kesukaan penggunanya [11]. Mekanisme putar Lazy Susan memerlukan bantalan pada batang yang membuat rak berputar pada sudut tertentu.

Beberapa tipe penyelenggara kabinet yang dapat diputar, yang juga dikenal sebagai Lazy Susan, antara lain [12]:

- Lazy Susan berbentuk D (putaran 180 derajat)
- Lazy Susan berbentuk ginjal (putaran 270 derajat)
- Lazy Susan berbentuk bulat (putaran 360 derajat).

F. Sistem Kontrol

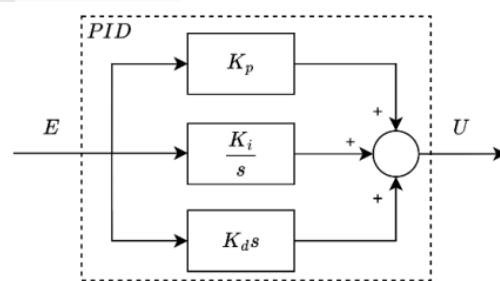
Sistem kontrol atau kendali adalah kombinasi dari beberapa komponen yang saling terhubung untuk mencapai tujuan tertentu, yaitu mengatur atau mengendalikan suatu proses atau sistem. Secara umum, sistem ini dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu sistem kontrol terbuka (Open Loop Control) dan sistem kontrol tertutup (Closed Loop Control) [13].

G. Kontrol PID

Kontrol PID adalah sistem kendali yang berfungsi untuk mengukur tingkat presisi dalam sistem instrumentasi, dengan memanfaatkan umpan balik sebagai fitur utamanya [15]. Kontroler PID dibagi dalam dua bentuk, yaitu kontroler PID analog dan kontroler PID digital. Pada penelitian ini kontroler PID yang digunakan yaitu kontroler PID digital karena pengolahannya diimplementasikan melalui pemrograman dan dijalankan oleh komputer atau mikrokontroler. Sedangkan pada kontrol PID analog pengolahannya memerlukan sejumlah komponen analog untuk merealisasikan persamaan matematis PID.

H. Kontroler PID Digital

Kontroler PID digital merupakan jenis kontroler PID yang diimplementasikan melalui pemrograman dan dijalankan oleh komputer atau mikrokontroler. Dalam proses perhitungannya, variabel error dan last error dimanfaatkan untuk menentukan aksi kontrol. Pada setiap iterasi program, nilai error diperbarui menggunakan data sensor terbaru, sedangkan nilai error dari iterasi sebelumnya disimpan dalam variabel last error [16]. Pada penelitian ini kontroler PID digital yang dipakai adalah kontroler PID paralel. Kontroler PID paralel merupakan salah satu jenis kontrol PID yang bekerja dengan tiga jalur terpisah secara bersamaan, yaitu jalur proporsional (P), integral (I), dan turunan (D). Setiap jalur memberikan kontribusi secara mandiri terhadap sinyal kontrol akhir. Struktur ini memungkinkan setiap jalur dapat disetel secara independen, sehingga karakteristik respons sistem dapat diatur dengan lebih presisi. Proses tuning umumnya dilakukan dengan menentukan nilai K_p, K_i, dan K_d secara bertahap, kemudian menggabungkannya dalam persamaan kontrol. Berikut adalah diagram blok kontroler PID.

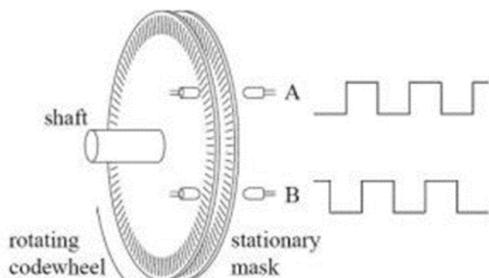


GAMBAR 1
(DIAGRAM BLOK BLOK KONTROLER PID)

I. Rotary Encoder

Rotary encoder adalah perangkat elektromekanis yang berfungsi untuk memantau pergerakan dan posisi suatu objek berputar. Umumnya, rotary encoder memanfaatkan sensor optik untuk menghasilkan pulsa secara berurutan yang kemudian dapat diterjemahkan menjadi informasi gerakan,

posisi, dan arah putaran. Dengan demikian, sudut putar poros dapat dikonversi menjadi data digital yang diproses oleh sistem kendali. Rotary encoder banyak digunakan dalam aplikasi seperti pengendalian robot, penggerak motor (motor drive), dan berbagai sistem yang membutuhkan deteksi posisi dengan presisi tinggi [20].



GAMBAR 2
(SUSUNAN INCREMENTAL ROTARY ENCODER)

Incremental encoder umumnya memiliki dua jalur (track) atau satu jalur tunggal (single track) serta dua sensor yang disebut channel A dan B. Saat poros encoder berputar, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4, setiap channel akan menghasilkan deretan pulsa dengan frekuensi yang sebanding dengan kecepatan putaran. Perbedaan fasa antara channel A dan B digunakan untuk menentukan arah putaran. Jumlah putaran dapat dihitung dengan mengukur jumlah pulsa sesuai dengan resolusi piringan. Arah putaran ditentukan berdasarkan channel yang berada di posisi lebih dulu (leading) dibanding channel lainnya, karena kedua channel tersebut selalu memiliki perbedaan fasa sebesar seperempat periode (quadrature signal). Selain itu, sering terdapat channel ketiga yang disebut INDEX, yang menghasilkan satu pulsa setiap satu putaran penuh dan bermanfaat untuk menghitung jumlah putaran yang terjadi [21].

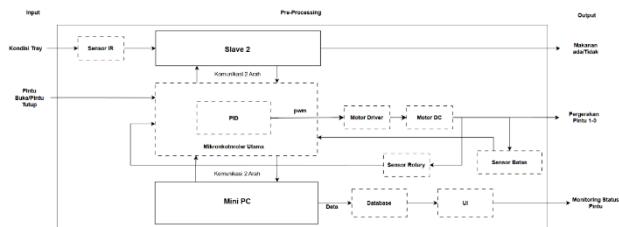
III. METODE

A. Konsep Desain

Selama proses pengantaran makanan oleh robot, sistem pintu otomatis yang dikembangkan oleh penelitian ini bertujuan untuk memastikan bahwa makanan tetap steril dan higienis. Komponen utama sistem adalah ESP32, yang dilengkapi dengan metode kontrol PID untuk mengatur kecepatan dan posisi pintu untuk membuka dan menutup pintu dengan halus dan tepat. Sementara limit switch berfungsi sebagai pengaman tambahan yang menjamin bahwa pintu akan berhenti pada batas akhir gerakannya, rotary encoder berfungsi sebagai sensor feedback yang mendekripsi posisi pintu secara real-time.

Selain itu, ESP32 dilengkapi dengan modul komunikasi dua arah yang dapat terhubung ke Arduino Mega, Raspberry Pi dan Firebase. Ini memungkinkan antarmuka Kodular untuk mengirim dan memantau status pintu secara real-time. Dengan sistem pintu ini, pintu dapat dikontrol secara otomatis maupun manual, memberikan keamanan tambahan untuk makanan yang diantar. Sistem secara keseluruhan meningkatkan kenyamanan dan kepercayaan pengguna sekaligus meningkatkan keandalan dan efisiensi robot pengantar makanan.

B. Blok Diagram Sistem



GAMBAR 3
(DIAGRAM BLOK SISTEM)

Pada Gambar diatas dijelaskan mengenai cara kerja sistem yang dirancang dalam penelitian ini. Sistem terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu ESP32, Arduino Mega 2560 Pro, dan Raspberry Pi 4 Model B. Sistem robot pengantar makanan ini memiliki bagian utama, yaitu mekanisme pintu otomatis untuk menjaga keamanan makanan.

Pada bagian mekanisme pintu otomatis, digunakan rotary encoder sebagai sensor utama untuk membaca posisi pintu secara real-time, sedangkan limit switch digunakan sebagai pengaman batas gerak pintu. Sistem kontrol pintu dikendalikan oleh ESP32 dengan menggunakan metode PID agar pintu dapat bergerak secara presisi dan berhenti tepat pada posisi target. Selain itu, ESP32 juga berperan sebagai modul komunikasi dua arah yang mengirimkan data status pintu, status tray, kondisi baterai, dan kondisi sensor ke server Firebase.

Seluruh data tersebut ditampilkan secara real-time melalui antarmuka pengguna berbasis Kodular, sehingga pengguna dapat memantau kondisi robot, status pintu, dan status tray dari jarak jauh. Dengan adanya integrasi IoT ini, sistem pintu otomatis tidak hanya mampu menjaga makanan tetap steril dan higienis, tetapi juga meningkatkan kenyamanan serta efisiensi pelayanan pada robot pengantar makanan.

C. Alat dan Komponen

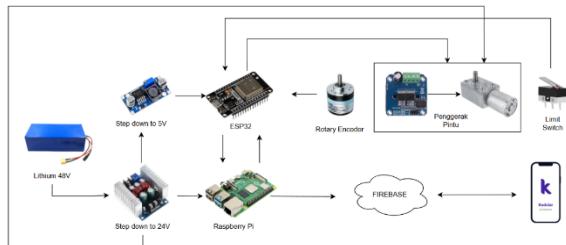
Pada bagian ini berisikan tentang alat atau komponen yang digunakan beserta fungsi dari masing-masing komponen:

1. **ESP32 Dev Module**
Mikrokontroler utama untuk pengendali pintu dan sensor, serta koneksi WiFi dan Firebase.
2. **Raspberry Pi (Mini PC)**
Mikrokontroler untuk komunikasi IoT.
3. **Rotary Encoder E38S6G5 600B G24N**
Sensor rotary untuk membaca posisi putaran pada sistem pintu.
4. **Limit Switch KW10-Z1P**
Saklar mekanik untuk batas akhir gerak tray dan pintu.
5. **Motor DC JGY370**
Motor penggerak tray (putaran lambat, torsi besar).

6. Motor Driver BTS7960
Pengendali arah dan kecepatan motor DC (high current).
7. Regulator Step Down (Buck Converter)
Modul konversi tegangan (misal: 12V → 5V).

D. Rangkaian Sistem

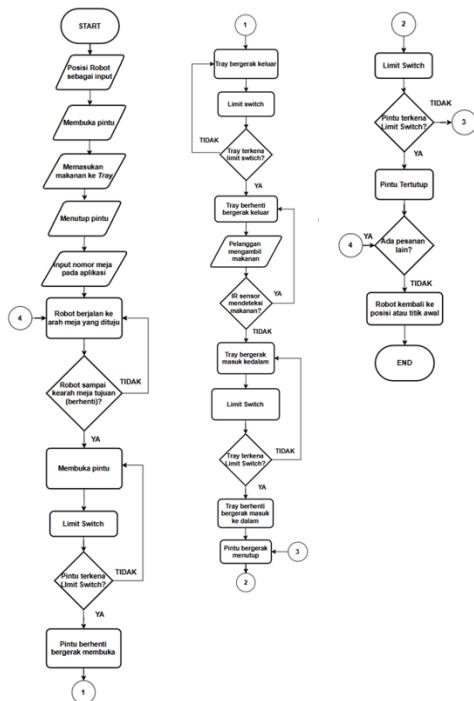
Sebelum melakukan realisasi dari sistem yang akan dibuat, maka dibuatlah rangkaian komponen dalam penelitian ini dalam bentuk diagram



GAMBAR 4
(RANGKAIAN SISTEM PINTU OTOMATIS PADA ROBOT PENGANTAR MAKANAN)

E. Diagram Alir Pembuatan Sistem Pintu Otomatis

Diagram alir pembuatan dan mekanisme Pintu otomatis mencakup cara kerja sensor, proses mikrokontroler dan sistem robot



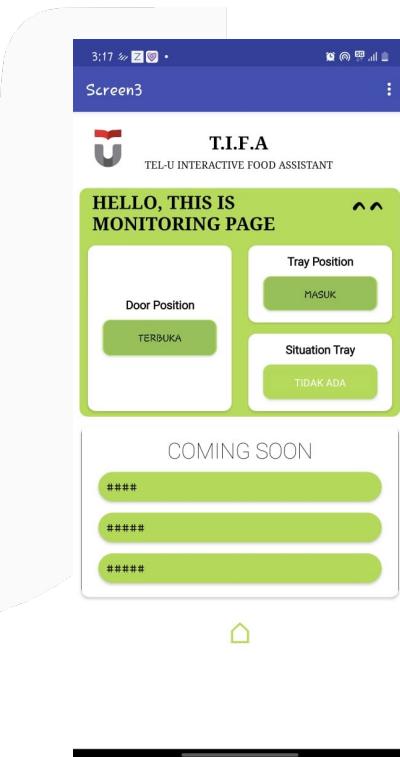
GAMBAR 5

(DIAGRAM ALIR SISTEM PINTU OTOMATIS)

Pada gambar 5 Proses dimulai dengan robot berada di posisi awal dan memulai pengantaran dengan membuka pintu untuk memasukkan makanan ke dalam tray. Setelah makanan masuk ke dalam tray, pintu robot ditutup dan aplikasi digunakan untuk menentukan arah pengantaran untuk memasukkan nomor meja tujuan. Selanjutnya, robot bergerak menuju meja pelanggan yang telah ditentukan. Robot berhenti di meja dan secara otomatis membuka pintu. Limit switch mengontrol apakah pintu telah terbuka sepenuhnya. Setelah itu, tray bergerak keluar hingga menyentuh limit switch untuk memastikan posisinya benar. Pelanggan kemudian mengambil makanan, yang terdeteksi oleh sensor IR. Setelah makanan diambil, tray bergerak kembali masuk ke dalam hingga menyentuh limit switch untuk memastikan tray berada di posisi aman. Setelah tray tertutup sepenuhnya, pintu robot akan kembali menutup secara otomatis. Robot akan melanjutkan pengantaran ke meja berikutnya jika ada pesanan tambahan. Namun, jika tidak ada pesanan baru, robot akan kembali ke posisi awal atau ke titik awal untuk bersiap untuk tugas berikutnya. Proses ini menjamin pengantaran makanan yang efektif dan otomatis melalui penggunaan sensor dan sistem kontrol.

F. Perancangan UI pada Kodular

Pada penelitian ini, akan dirancang sebuah UI atau *user interface* guna melakukan *monitoring* pada saat sistem sedang bekerja



GAMBAR 6
(TAMPILAN ANTARMUKA APLIKASI)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

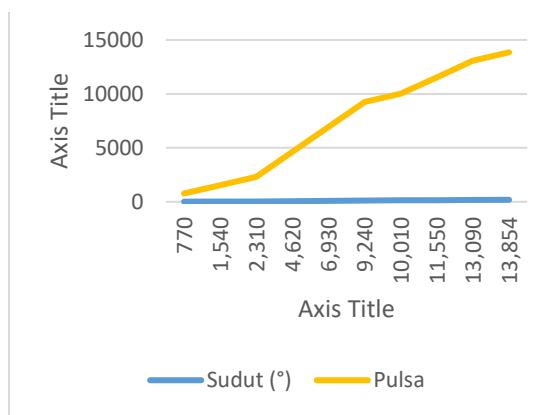
A. Pengujian Sensor Rotary Encoder

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa jumlah pulsa yang dihasilkan oleh rotary

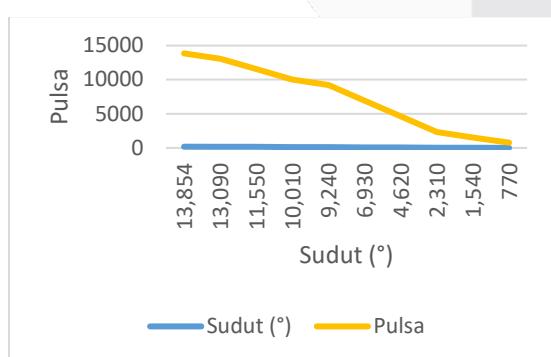
encoder sesuai dengan gerakan aktual dari sistem, yaitu pergerakan buka dan tutup pintu.

TABEL 1
(KALIBRASI SENSOR ROTARY ENCODER)

No.	Hasil Kalibrasi		
	Sudut (°)	Pulsa yang dihasilkan	Arah
1	10	770	CW
2	20	1.540	CW
3	30	2.310	CW
4	60	4.620	CW
5	90	6.930	CW
6	120	9.240	CW
7	130	10.010	CW
8	150	11.550	CW
9	170	13.090	CW
10	180	13.854	CW



GAMBAR 7
(GRAFIK SAAT ROTARY ENCODER SEARAH JARUM JAM)



GAMBAR 8
(GRAFIK SAAT ROTARY ENCODER LAWAN JARUM JAM)

Berdasarkan tabel dan grafik hasil kalibrasi sensor rotary encoder di atas, terlihat adanya hubungan yang linier antara

sudut putar poros (dalam derajat) dengan jumlah pulsa yang dihasilkan oleh sensor. Setiap kenaikan sudut menghasilkan kenaikan jumlah pulsa secara proporsional, yang menunjukkan bahwa sensor bekerja dengan konsisten dalam mengubah pergerakan mekanis menjadi sinyal digital. Misalnya, pada sudut 10° dihasilkan 770 pulsa, dan pada 90° dihasilkan 6.930 pulsa, sedangkan pada sudut maksimum 180° tercatat 13.854 pulsa. Grafik memperlihatkan garis tren yang mendekati garis lurus, sehingga dapat disimpulkan bahwa akurasi konversi sudut ke pulsa cukup tinggi dan kesalahan pembacaan relatif kecil. Pola ini juga memudahkan proses perhitungan sudut secara *real-time* pada aplikasi kontrol posisi, karena cukup menggunakan rumus konversi linier antara pulsa dan sudut. Hal ini membuktikan bahwa rotary encoder yang digunakan memiliki presisi yang baik dan layak digunakan untuk sistem kontrol otomatis seperti pintu atau robot pengantar makanan.

B. Pengujian Limit Switch

Limit switch KW10-Z1P diuji sebagai pengaman batas gerak pintu. Sensor ini bekerja optimal dalam mendeteksi batas maksimal dan minimal posisi pintu, mampu menghentikan motor secara langsung saat switch tertekan.

TABEL 2
(PENGUJIAN LIMIT SWITCH)

Pengujian ke-	Status limit switch (high=1/low=0)	Kondisi Motor DC
1	1	Berjalan
2	0	Berhenti
3	1	Berjalan
4	0	Berhenti
5	1	Berjalan
6	0	Berhenti
7	1	Berjalan
8	0	Berhenti
9	1	Berjalan
10	0	Berhenti

Dapat dilihat pada tabel jika sensor *limit Switch* bekerja dengan baik untuk menghentikan putaran pada motor DC sehingga dapat disimpulkan sensor tersebut bekerja dengan optimal.

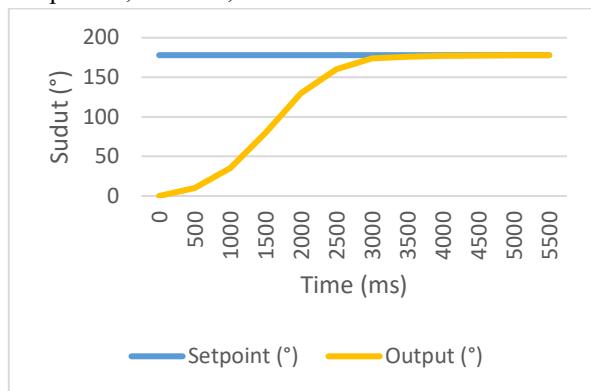
C. Pengujian Sistem Kontrol Motor DC Menggunakan PID Berbasis sensor rotary encoder

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sistem kontrol posisi pintu otomatis dengan memakai berbagai parameter PID (Proportional, Integral,

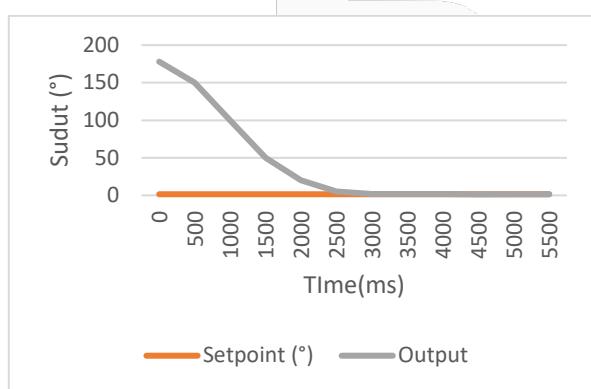
Derivative). Pengujian dilakukan selama dalam beberapa kali proses membuka tutup pintu, dengan cara hasil pengukuran pulsa dari rotary encoder dibandingkan dengan nilai yang dituju. Selisih nilai tersebut yang digunakan adalah nilai pulsa sebagai nilai error, baik pada saat membuka (CW) atau menutup pintu (CCW)

$$\text{Persentase Error} = \frac{(\text{Target}-\text{hasil percobaan})}{\text{Target}} \times 100\%$$

- Nilai $K_p = 3.0, K_i = 0.2, K_d = 4.00$

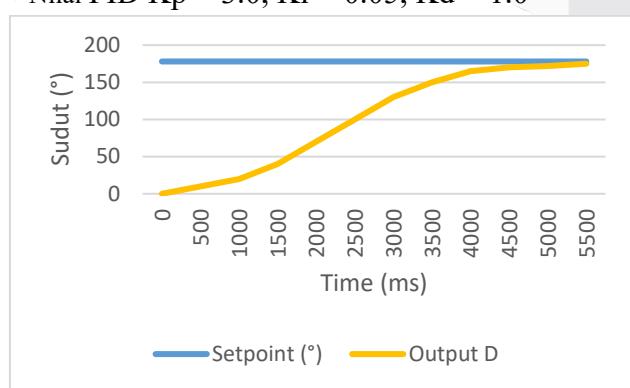


GAMBAR 9
(GRAFIK PID SAAT PINTU BUKA)

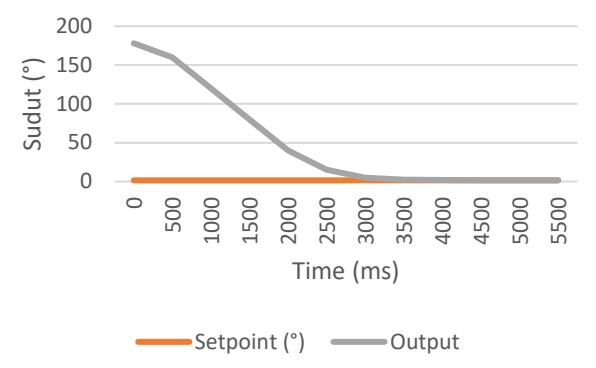


GAMBAR 10
(GRAFIK PID SAAT PINTU TUTUP)

- Nilai PID $K_p = 3.0, K_i = 0.05, K_d = 1.0$

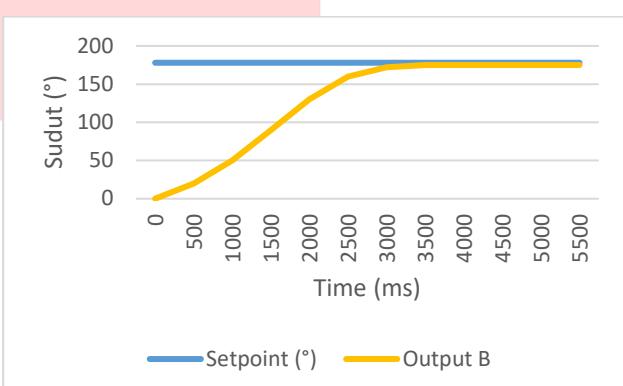


GAMBAR 11
(GRAFIK PID SAAT PINTU BUKA 2)

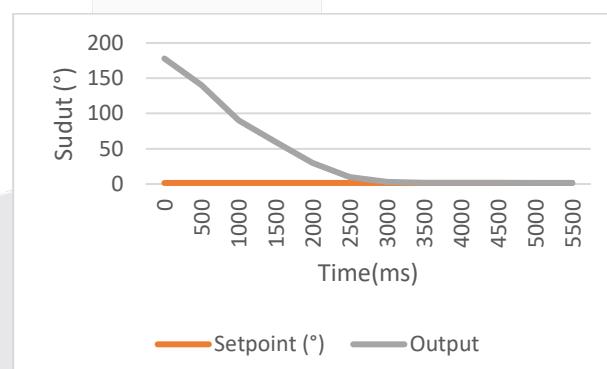


GAMBAR 12
(GRAFIK PID SAAT PINTU TUTUP 2)

- Nilai PID $K_p = 1.5, K_i = 0.02, K_d = 1.0$.

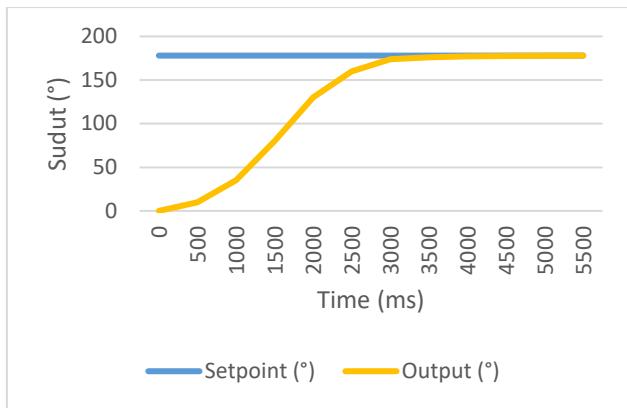


GAMBAR 13
(GRAFIK PID SAAT PINTU BUKA 3)

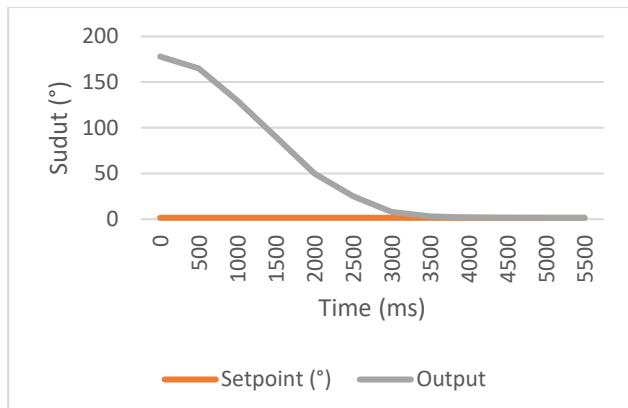


GAMBAR 14
(GRAFIK PID SAAT PINTU TUTUP 3)

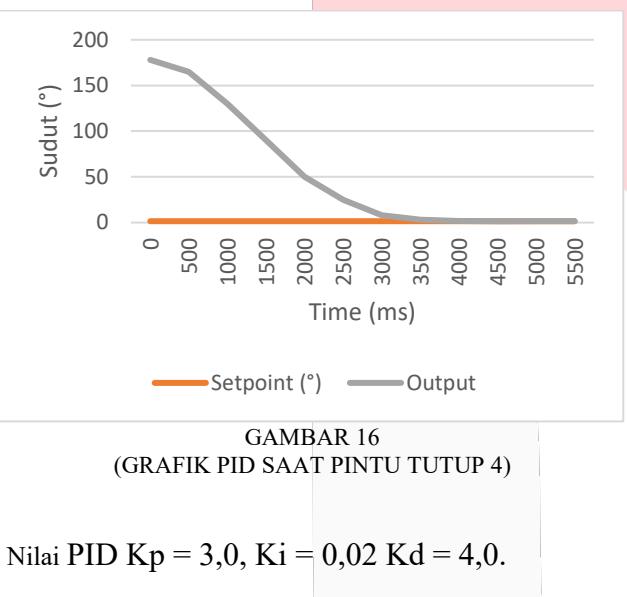
- Nilai PID $K_p = 2.0, K_i = 0.05, K_d = 4.0$.



GAMBAR 15
(GRAFIK PID SAAT PINTU BUKA 4)

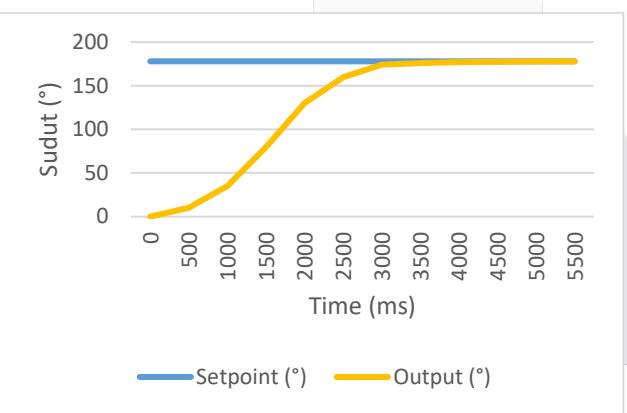


GAMBAR 18
(GRAFIK PID SAAT PINTU TUTUP 15)



GAMBAR 16
(GRAFIK PID SAAT PINTU TUTUP 4)

- Nilai PID $K_p = 3,0$, $K_i = 0,02$ $K_d = 4,0$.



GAMBAR 17
(GRAFIK PID SAAT PINTU BUKA 15)

Pengujian kontrol PID pada pintu otomatis menggunakan rotary encoder sebagai sensor feedback menunjukkan bahwa variasi parameter PID sangat memengaruhi kecepatan, stabilitas, dan presisi pergerakan pintu. Rotary encoder memberikan data posisi aktual secara real-time, memungkinkan kontrol PID menghitung error dengan presisi dan menyesuaikan gerakan motor. Dari lima konfigurasi yang diuji, terlihat bahwa menurunkan K_p membuat respon lebih lambat namun stabil, menaikkan K_i mempercepat hilangnya error sisa tetapi cenderung memunculkan overshoot, sedangkan menurunkan K_d mengurangi redaman sehingga memicu riak kecil menjelang setpoint. Gain kecil pada semua parameter menghasilkan gerakan paling halus namun lambat dan kurang responsif terhadap perubahan cepat.

Kombinasi $K_p=3,0$, $K_i=0,05$, $K_d=4,0$ terbukti paling seimbang untuk setpoint 178° (buka) dan 1,5° (tutup) karena memberikan respon cepat, redaman baik, overshoot minim, serta error akhir kecil. Konfigurasi ini menjadi baseline yang direkomendasikan, dengan penyesuaian sesuai kebutuhan: menaikkan K_i jika ingin presisi akhir lebih ketat (dengan risiko overshoot kecil) atau menaikkan K_d untuk transisi yang lebih halus. Hasil ini menegaskan bahwa tuning PID yang tepat mampu memberikan keseimbangan optimal antara kecepatan gerak, stabilitas, dan kenyamanan operasi pintu otomatis.

D. Pengujian Sistem Jarak Jauh (Internet of Things)

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem pemantauan jarak jauh berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dirancang. Fokus utama pengujian adalah mengukur delay atau jeda waktu antara pengiriman data melalui ESP32 dan penerimaan serta pencatatannya di Firebase melalui jaringan internet. Nilai delay diperoleh dari perbedaan waktu antara saat data dicatat di serial monitor sebagai pengirim (transmitter) dan saat data tersebut tersimpan di database Firebase sebagai penerima (receiver).

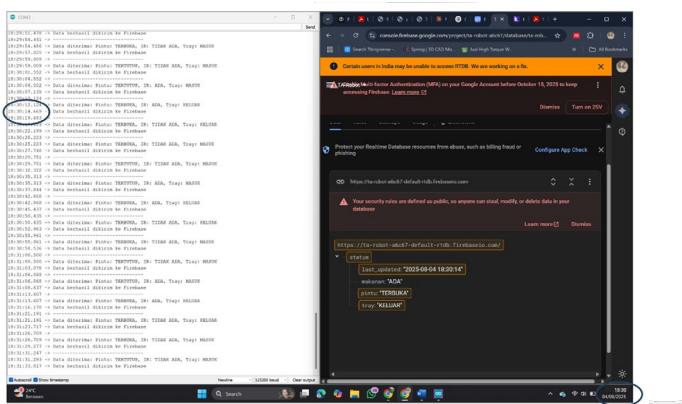
Tabel berikut menyajikan hasil pengujian delay sistem saat pintu terbuka maupun tertutup, serta menampilkan waktu pencatatan masing-masing sebagai acuan perhitungan delay,

TABEL 3
(PENGUJIAN DELAY SISTEM)

No	Status Pintu	Status IR	Status Tray	Waktu di serial monitor	Waktu di	Delay (s)

					databas e	
1	Tertutu p	Ada	Masu k	18:29:5 9	18:30:0 1	1
2	Tertutu p	Ada	Masu k	18:30:0 4	18:30:0 7	3
3	Terbuk a	Ada	Kelu ar	18:30:1 2	18:30:1 4	2
4	Terbuk a	Tidak Ada	Kelu ar	18:30:1 9	18:30:2 2	3
5	Terbuk a	Tidak Ada	Masu k	18:30:2 5	18:30:2 7	2
6	Tertutu p	Tidak Ada	Masu k	18:30:2 9	18:30:3 2	3
7	Tertutu p	Ada	Masu k	18:35:0 6	18:35:0 8	2
8	Tertutu p	Ada	Masu k	18:35:1 1	18:35:1 4	3
9	Terbuk a	Ada	Kelu ar	18:35:1 9	18:35:2 1	3
10	Terbuk a	Tidak Ada	Kelu ar	18:35:2 5	18:35:2 7	2
11	Terbuk a	Tidak Ada	Masu k	18:35:3 2	18:35:3 5	3
12	Tertutu p	Tidak Ada	Masu k	18:35:4 0	18:35:4 3	3
Rata-rata					2,5	

2	Tertut up	Ada	Masu k	Aman	10:17: 10	10:17: 13	3
1	Tertut up	Ada	Masu k	Makanan Hilang	10:17: 16	10:17: 17	1
2	Tertut up	Ada	Masu k	Makanan Hilang	10:17: 20	10:17: 23	3
3	Terbu ka	Ada	Kelu ar	Makanan Hilang	10:17: 26	10:17: 28	2
4	Terbu ka	Tida k Ada	Kelu ar	Makanan Hilang	10:17: 31	10:17: 34	3
5	Terbu ka	Tida k Ada	Masu k	Makanan Hilang	10:17: 37	10:17: 39	2
6	Tertut up	Tida k Ada	Masu k	Aman	10:17: 42	10:17: 45	3
7	Tertut up	Ada	Masu k	Aman	10:20: 12	10:20: 14	2
8	Tertut up	Ada	Masu k	Aman	10:20: 17	10:20: 20	3
9	Terbu ka	Ada	Kelu ar	Makanan Hilang	10:20: 23	10:20: 26	3
10	Terbu ka	Tida k Ada	Kelu ar	Makanan Hilang	10:20: 29	10:20: 31	2
11	Terbu ka	Tida k Ada	Masu k	Makanan Hilang	10:20: 34	10:20: 37	3
12	Tertut up	Tida k Ada	Masu k	Aman	10:20: 40	10:20: 43	3
Rata-rata					2,4		

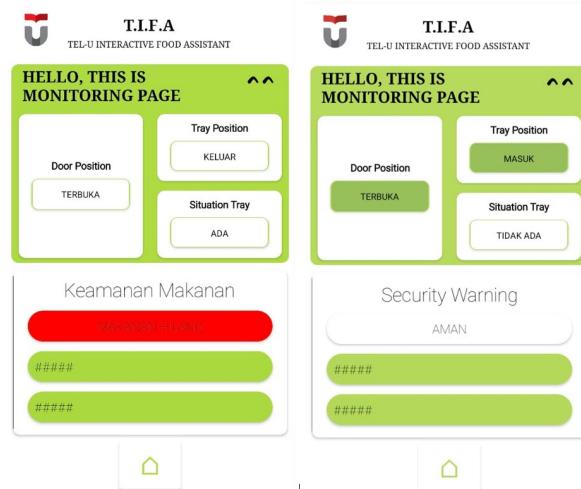


GAMBAR 19
(PENGUJIAN SISTEM IOT)

E. Pengujian Sistem Keamanan Makanan

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat keamanan sistem pintu otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dirancang. Fokus utama pengujian adalah memastikan bahwa sistem mampu merespons dengan tepat terhadap kondisi akses yang sah maupun tidak sah, dengan memantau status pintu, sensor infra merah (IR). Data pengujian diperoleh dengan mencatat waktu kejadian di serial monitor sebagai catatan dari sisi perangkat (transmitter) dan waktu pencatatan di Firebase sebagai bukti penyimpanan di server (receiver).

N o	Status Pintu	Stat us IR	Statu s Tray	Status Keamanan	Waktu di Serial Monit or	Waktu di Databa se	Dela y (s)
1	Tertut up	Ada	Masu k	Aman	10:17: 06	10:17: 07	1



GAMBAR 20
(TAMPILAN UI KEAMANAN MAKANAN)

F. KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem, mulai dari sensor, kontrol, hingga komunikasi, bekerja dengan baik sesuai tujuan perancangan. Sensor rotary encoder mampu membaca posisi pintu dengan akurat, sedangkan limit switch berfungsi optimal sebagai pengaman tambahan. Komunikasi dua arah antara ESP32 dan Arduino Mega berjalan lancar, memungkinkan pertukaran data sensor, status tray, dan perintah secara real-time sehingga sistem

dapat merespons dengan cepat dan sinkron. Selain itu, penerapan Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 yang terhubung dengan Raspberry Pi dan platform Kodular berhasil memberikan monitoring pintu dan tray secara real-time dari jarak jauh. Secara keseluruhan, sistem pintu beroperasi sesuai perancangan dengan kinerja sensor, komunikasi, dan IoT yang optimal.

REFERENSI

- [1] Averina Fidelia Aqilah Dizaramadhani, "Rancang Bangun Sistem Mekatronik Kabinet Penyimpanan Baterai Pada Sistem Penukaran Baterai Otomatis Untuk Unmanned Aerial Vehicle," Universitas Telkom, 2023.
- [2] F. T. Elektro And U. Telkom, Buku Tugas Akhir Capstone Design Mobilisasi Robot Pengantar Makanan Berbasis Odometry Dan Qr Detection. 2023.
- [3] P. Raja, Dr. S. Kumar, D. S. Yadav, And Dr. T. Singh, "The Internet Of Things (Iot): A Review Of Concepts, Technologies, And Applications," International Journal Of Information Technology And Computer Engineering, No. 32, Pp. 21–32, 2023, Doi: 10.55529/Ijitec.32.21.32.
- [4] E. Sopyan, D. Suarna, M. Harun Ashar, And Mustakim, "Rancang Bangun Robot Pengantar Obat Dan Makanan Pasien Berbasis Internet Of Things," Bulletin Of Information Technology (Bit), Vol. 4, No. 3, Pp. 344–352, 2023, Doi: 10.47065/Bit.V4i3.839.
- [5] A. Wardhana Et Al., "Arsitektur Dan Standarisasi Internet Of Things (Iot)," E-Commerce Dan Internet Of Things (Iot), No. May, Pp. 197–210, 2023.
- [6] Y. A. Furima, J. P. P. Naibaho, And C. D. Suhendra, "Aplikasi Belajar Dan Bermain Untuk Anak Usia Dini Menggunakan Kodular," Jistech: Journal Of Information Science And Technology, Vol. 11, No. 1, Pp. 47–58, 2023, Doi: 10.30862/Jistech.V11i1.63.
- [7] M. I. Fahmi, J. Rohman, And E. Kuncoro, "Rancang Bangun Sistem Kendali Robot Tank Berbasis Internet Of Things (Iot)," Jurnal Telkommil, Pp. 1–7, 2020, [Online]. Available: <Http://Journal.Poltekad.Ac.Id/Index.Php/Kom/Article/View/47>
- [8] A. Malewar, "Pudutech Introduced Bellabot, A Cute Meowing Food Delivery Robot." Accessed: Dec. 30, 2024. [Online]. Available: Https://Www.Inceptivemind.Com/Pudutech-Bellabot-Holabot-Cute-Meowing-Food-Delivery-Robot/11193/#Google_Vignette
- [9] Charlotte Hu, "How Robots Are Actually Helping In Restaurants | Popular Science." Accessed: Dec. 30, 2024. [Online]. Available: <Https://Www.Popsci.Com/Technology/Robots-In-Restaurants/>
- [10] Y. Kristyawan And A. D. Rizaldi, "An Automatic Sliding Doors Using Rfid And Arduino," International Journal Of Artificial Intelligence & Robotics (Ijair), Vol. 2, No. 1, Pp. 13–21, 2020, Doi: 10.25139/Ijair.V2i1.2706.
- [11] Shelfgenie, "What Is A Lazy Susan? | Shelfgenie." Accessed: Dec. 24, 2024. [Online]. Available: Https://Www.Shelfgenie-Com.Translate.Goog/Blog/Solutions-Designs/Lazysusan/?_X_Tr_Sl=En&_X_Tr_Tl=Id&_X_Tr_Hl=Id&_X_Tr_Pto=Sge
- [12] Charles, "What Is Lazy Susan Cabinet? - Venace." Accessed: Dec. 24, 2024. [Online]. Available: <Https://Www.Venace.Com/Id/Lemari-Susan-Malas/>
- [13] L. Khakim, Sunarno, Sugiyanto, S. Siahaan, J. Simanjuntak, And D. Lumbantoruan, "Modern Control Systems' By Richard C. Dorf And Robert H. Bishop - Пошук Google," Jurnal Mipa Unnes, Vol. 35, No. 2, Pp. 38–49, 2022, [Online]. Available: <Https://Www.Google.Com/Search?Q=%22modern+Control+Systems%22+By+Richard+C.+Dorf+And+Robert+H.+Bishop&Oq=%22modern+Control+Systems%22+By+Richard+C.+Dorf+And+Robert+H.+Bishop&Aqs=Edge..69i57.385j0j9&Sourceid=Chrome&Ie=UTF-8>
- [14] Didi Widya Utama, "Sistem Kontrol Pada Modul Aliran Distribusi Bahan Baku Dengan Menggunakan Programmable Logic Controller," Seminar Nasional Mesin Dan Industri (Snmi3) 2007, Vol. Jurusan Te, Pp. 1–12, 2007, [Online]. Available: Http://Repository.Untar.Ac.Id/1415/1/60_Didi_Widya_Untar.Pdf
- [15] R. F. D. Kuncahyo, Puput Wanarti Rusimamto, Endryansyah, And Nur Kholis, "Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor Dc Menggunakan Pid Controller," Jurnal Teknik Elektro, Vol. 13, Pp. 135–143, 2024.
- [16] V. N. Febrianto, "Aplikasi Kontrol Pid Untuk Pengaturan Putaran Motor Dc Pada Alat Pengepres Adonan Roti (Screw Conveyor)," Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Brawijaya, Pp. 1–6, 2014.
- [17] R. Hudaya, "Kendali Pid Digital: Implementasi Pada Sistem Tertanam Menggunakan Metode Pengolahan Terdistribusi," Jtera (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 9, No. 2, P. 85, 2024, Doi: 10.31544/Jtera.V9.I2.2024.85-94.
- [18] Kifaya And C. Rijal, "Desain Dan Implementasi Kontroler Proportional, Integral, Diferensial (Pid) Digital Dengan Human Machine Interface (Hmi) Pada Modul Trainer Analog Control ...," Seminar Nasional Hasil Penelitian, Vol. 2017, Pp. 49–54, 2018, [Online]. Available: <Http://Jurnal.Poliugp.Ac.Id/Index.Php/Snp2m/Article/Viewfile/213/151>
- [19] P. Saka Gilap Asa And S. Priyambodo, "Sistem Pembelajaran Kontrol Pid (Proporsional Integral Derivatif) Pada Pengatur Kecepatan Motor Dc Pid(Proportional Integral Derivative) Control Learning System On Dc Motor Speed Controller," Jurnal Elektrikal, Vol. 3, No. 1, Pp. 72–77, 2016.
- [20] S. Widodo And M. Baidlowi, "Rancang Bangun Sensor Rotary Encoder Sebagai Alat Pengendali Gerakan Azimuth Prototype Dudukan Meriam," Jurnal Elektrosista, Vol. 11, No. 1, Pp. 1–9, 2023, Doi: 10.63824/Jtep.V11i1.147.
- [21] I. Akbar, N. Ismail, And T. D. Rachmilda, "Design Of Angle Position And Temporary Velocity Detector Using Rotary Encoder Ky-040," Senter 2019: Seminar Nasional Teknik Elektro 2019, No. November 2020, Pp. 287–293, 2020.