

# Pengembangan Sistem *Internet Of Things* (IoT) Untuk Monitoring Dan Kontrol *Tray* Otomatis Pada Robot Pengantar Makanan

Giovanni Salim  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

gvnnisalim@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

Pada abad ke-21, industri Food and Beverage (F&B) berkembang pesat dengan memanfaatkan teknologi robotika untuk meningkatkan efisiensi layanan. Salah satu inovasi yang mulai banyak diterapkan adalah robot pengantar makanan, yang mampu menggantikan peran manusia dalam proses pengantaran guna meningkatkan keamanan, kebersihan, serta konsistensi layanan. Meski demikian, pengembangan robot ini menghadapi sejumlah tantangan teknis, seperti penggunaan tray statis dan perlindungan makanan yang kurang optimal, sehingga menurunkan kinerja sistem.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem mekatronik pada robot pengantar makanan melalui tray otomatis yang lebih steril serta sistem navigasi yang akurat. Metode penelitian dilakukan dengan studi literatur, permodelan, simulasi menggunakan perangkat lunak desain, serta pengujian sensor dan aktuator. Sistem kontrol dibangun menggunakan mikrokontroler Arduino Mega untuk mekanisme tray dan Raspberry Pi untuk pergerakan robot, dilengkapi Internet of Things (IoT) melalui aplikasi Kodular sebagai sarana monitoring.

Hasil pengujian menunjukkan penerapan kontrol PID mampu menghasilkan pergerakan tray yang stabil dan presisi, dengan rata-rata error sebesar 2,66% pada jarak 27,5 cm dan 3,21% pada jarak 8,5 cm. Hal ini membuktikan sistem memiliki akurasi tinggi, minim osilasi, serta overshoot rendah. Kehadiran tray otomatis berbasis IoT menjadikan robot lebih inovatif, efisien, dan memberikan kenyamanan bagi pengguna. **Kata kunci:** efisiensi layanan, IoT, robot pengantar makanan, tray, sistem mekatronik.

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Industri Food and Beverage (F&B) pada abad ke-21 mengalami perkembangan pesat seiring dengan pemanfaatan teknologi, khususnya robotika. Salah satu penerapan pentingnya adalah layanan pengantaran makanan di restoran, kafe, maupun kantin, yang berpengaruh langsung terhadap kepuasan dan loyalitas pelanggan. Sistem tradisional yang masih bergantung pada tenaga manusia dinilai kurang efisien karena keterbatasan kinerja, tingginya biaya operasional, serta risiko kebersihan, keamanan, dan potensi *human error* [1][2].

Seiring meningkatnya kebutuhan akan efisiensi, robot pengantar makanan hadir sebagai alternatif yang lebih konsisten, hemat biaya, dan mampu mengurangi kesalahan manusia. Namun [3][4], penelitian terdahulu menunjukkan

bahwa robot yang ada masih memiliki berbagai keterbatasan, seperti tray yang bersifat statis, mobilitas yang kurang optimal, serta minimnya perlindungan makanan. Kondisi ini membuat robot belum mampu memberikan layanan pengantaran yang benar-benar efektif dan nyaman bagi pelanggan [5].

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan pengembangan robot pengantar makanan dengan fitur yang lebih inovatif, seperti tray otomatis yang dapat menjulur untuk memudahkan penyajian, pintu pelindung guna menjaga kebersihan dan sterilisasi makanan, serta sistem navigasi yang akurat agar makanan dapat diantarkan ke tujuan tanpa kesalahan. Inovasi ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan kenyamanan layanan, sekaligus memberikan nilai tambah dalam persaingan industri F&B modern.

### B. Tujuan

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah agar tray pada robot mampu mengantarkan dan menyajikan makanan dengan aman kepada pelanggan, sekaligus meningkatkan efisiensi proses pengantaran melalui sistem mekatronik tray yang dapat mengurangi ketergantungan pada tenaga manusia. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengembangkan sistem kontrol dan monitoring tray yang efisien serta mudah dipantau. Dengan demikian, proses pengantaran makanan di restoran, kafe, dan kantin diharapkan dapat berlangsung lebih efektif dan efisien, serta memungkinkan pengurangan penggunaan tenaga manusia sebagai perantara antara penyaji dan pelanggan..

## II. KAJIAN TEORI

### A. Robotika

Robotika adalah cabang ilmu yang berfokus pada desain, pembuatan, operasi, dan penggunaan robot. Robot sendiri merupakan mesin yang dapat diprogram ulang untuk melakukan berbagai tugas, baik secara otomatis maupun dengan kendali jarak jauh [6][7]. Secara umum, robotika memadukan berbagai disiplin ilmu seperti ilmu komputer, elektronika, dan mekanika untuk menghasilkan mesin yang mampu menjalankan tugas-tugas tertentu secara otomatis dan efisien tanpa campur tangan manusia [8]. Dalam perkembangannya, robotika tidak hanya terbatas pada perangkat mekanis, tetapi juga mencakup sistem cerdas yang

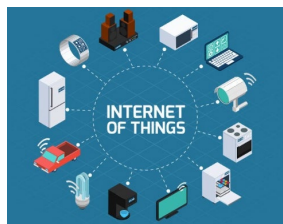
dilengkapi dengan kecerdasan buatan (AI) dan sensor untuk berinteraksi dengan lingkungan [7][8][9].

Robot dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsinya, seperti:

- Robot Industri: Untuk proses produksi dan tugas-tugas berulang.
- Robot Medis: Membantu prosedur kesehatan dan rehabilitasi.
- Robot Penjelajah: Menjelajahi lingkungan ekstrem seperti luar angkasa.
- Robot Layanan: Berinteraksi langsung dengan manusia seperti layanan pelanggan [3][4].

### B. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah konsep jaringan yang menghubungkan perangkat fisik dan sistem elektronik agar dapat saling berkomunikasi melalui internet tanpa interaksi manusia. Perangkat IoT umumnya dilengkapi sensor, aktuator, dan teknologi komunikasi untuk mengumpulkan dan menganalisis data secara langsung. Tujuannya adalah mengintegrasikan dunia fisik dengan digital demi menciptakan proses yang lebih cerdas dan efisien [11].



GAMBAR 1  
(Internet of Things)

### C. Kodular

Kodular adalah platform pengembangan aplikasi Android berbasis web yang memanfaatkan metode block programming, serupa dengan MIT App Inventor. Keunggulannya terletak pada kemudahan penggunaan, ketersediaan komponen visual yang beragam, serta fitur monetisasi bawaan. Pengguna cukup menggunakan browser dan menyusun blok program secara drag and drop. Fitur Kodular Companion juga mempermudah pengujian aplikasi secara real-time, tanpa perlu proses build dan install terlebih dahulu [12].

### D. BellaBot

BellaBot merupakan salah satu robot pengantar makanan yang dikembangkan oleh Pudu Robotics, sebuah perusahaan teknologi asal Tiongkok. Robot ini dirancang khusus untuk kebutuhan layanan di sektor perhotelan, restoran, dan kafe. BellaBot mampu membawa makanan atau minuman dari dapur ke meja pelanggan secara otomatis. Dengan hadirnya BellaBot, efisiensi pelayanan meningkat, risiko kesalahan manusia menurun, dan pengalaman pelanggan jadi lebih unik [3][4][10].

### E. Mekanisme Tray

Tray pada robot pengantar makanan berfungsi sebagai media untuk membawa makanan selama proses pengantaran. Tray didesain agar stabil dan mampu menampung berbagai jenis makanan/minuman tanpa tumpah. Beberapa robot seperti BellaBot dilengkapi multi-layer tray dengan kapasitas hingga 10 kg per lapisan, memungkinkan pengiriman dalam jumlah besar sekaligus [10].

### F. Sistem Kontrol

Sistem kontrol adalah sistem yang dirancang untuk mengelola dan mengatur perilaku perangkat atau proses tertentu agar mencapai tujuan atau nilai yang diinginkan (setpoint). Sistem ini terdiri dari kumpulan komponen yang bekerja secara terintegrasi untuk mengontrol variabel tertentu, seperti suhu, tekanan, atau kecepatan, sesuai dengan masukan yang diberikan. Sistem kontrol dapat beroperasi baik secara manual maupun otomatis, dengan elemen utama yang mencakup sensor, pengontrol, aktuator, dan mekanisme umpan balik. Sistem ini memiliki aplikasi luas di berbagai bidang, termasuk industri, otomasi, dan teknologi [13].

### G. Sistem Kontrol PID

Proportional Integral Derivative (PID) merupakan salah satu metode yang terdapat pada sistem kontrol. Kontrol PID adalah alat yang menerima data masukan dari sensor, menghitung perbedaan antara nilai aktual dan titik pengaturan yang diinginkan, lalu menyesuaikan keluaran untuk mengendalikan variabel seperti suhu, laju aliran, kecepatan, tekanan, dan tegangan. Kontroler ini melakukan ini melalui tiga mekanisme:

- Kontrol proporsional, yang bereaksi terhadap kesalahan saat ini.
- Kontrol integral, yang menangani kesalahan yang terakumulasi dari masa lalu.
- Kontrol derivatif, yang memprediksi kesalahan masa depan.

Kontroler PID menggabungkan ketiga komponen ini untuk menghitung keluaran. Arsitektur ini memungkinkan kontroler PID mempertahankan kontrol proses dan stabilitas sistem secara efisien [14][15].

Uraian tersebut dapat dijelaskan dalam rumus:

Di mana:

- $u(t)$  adalah dorongan yang datang dari kontroler, ke dalam Proses, pada waktu  $t$
- $e(t) = y_{sp}(t) - y(t)$  adalah perbedaan antara setpoint dan variabel proses yang diukur pada waktu  $t$
- $K_p, K_i, K_d$  masing-masing adalah konstanta P, I, dan D.

## III. METODE

### A. Konsep Desain

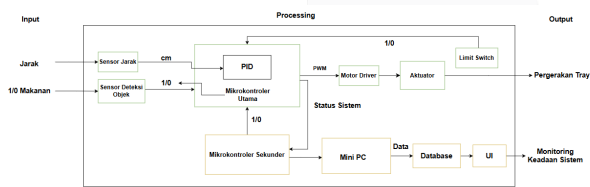
Pada desain sistem menggambarkan bagaimana tray pada robot dapat menjulurkan nampan untuk memberikan makanan ataupun minuman kepada konsumen. Sistem yang dirancang untuk memberikan makanan dan minuman dengan menggunakan motor DC wormgear sebagai aktuator yang akan menggerakkan tray untuk bergerak keluar dari dalam

tubuh robot. Kemudian sistem akan mendeteksi batas keluar dari tray yang akan membuat tray berhenti bergerak dengan menggunakan sensor Limit Switch. Kemudian sensor IR yang berada didalam tubuh robot yang berada di tengah nampan letak penyimpanan makanan sudah mendeteksi bahwa makanan pada tray sudah kosong yang akan membuat tray akan bergerak masuk kembali kedalam tubuh robot.

### B. Blok Diagram Sistem

Pada bagian tray digunakan dua sensor utama, yaitu Ultrasonic dan Infrared (IR). Sensor Ultrasonic berfungsi membaca jarak dalam satuan sentimeter sebagai input bagi kontrol PID, sedangkan sensor IR digunakan untuk mendeteksi keberadaan makanan atau minuman dalam tray dalam bentuk data biner (1 atau 0). Kedua sensor ini terhubung ke Arduino Mega Pro 2560 yang menjadi pusat pengendali. Data jarak dari sensor Ultrasonic diproses menggunakan algoritma PID untuk mengatur kecepatan putaran motor tray agar pergerakan lebih halus tanpa hentakan, sehingga makanan atau minuman tetap aman dan tidak tumpah. Hasil proses kontrol ini dikirim dalam bentuk sinyal PWM (pulse width modulation) ke motor driver, yang kemudian mengatur motor DC untuk menghasilkan pergerakan tray. Selain itu, digunakan sensor limit switch sebagai saklar mekanik pengaman yang secara otomatis menghentikan pergerakan motor ketika tray mencapai batas tertentu, sehingga mencegah kerusakan pada motor.

Seluruh sistem ini juga terhubung dengan platform Kodular yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna (UI) untuk memantau kondisi tray secara real time. Kodular memperoleh data dari Firebase yang sebelumnya dikirimkan melalui Raspberry Pi oleh ESP32 dan Arduino Mega Pro 2560 Mini. Dengan integrasi ini, proses monitoring dapat dilakukan dengan mudah, sehingga pergerakan tray tidak hanya lebih aman dan presisi, tetapi juga dapat dipantau secara langsung melalui perangkat berbasis IoT.



GAMBAR 2  
(DIAGRAM BLOK SISTEM)

### C. Alat dan Komponen

Pada bagian ini berisikan tentang alata tau komponen yang digunakan beserta fungsi dari masing-masing komponen:

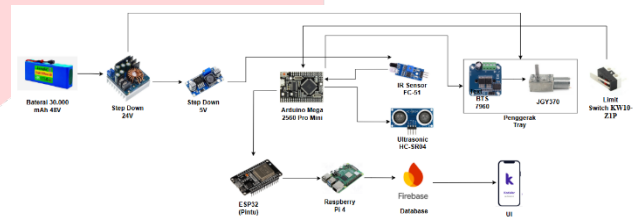
1. ESP32 Dev Module  
Modul mikrokontroler untuk koneksi WiFi dan Firebase.
2. Arduino Mega 2560 Pro Mini  
Mikrokontroler utama pengendali tray dan sensor.
3. HC-SR04 (Ultrasonik)  
Sensor jarak untuk kendali PID pergerakan tray.
4. IR Sensor FC-51

Sensor digital untuk deteksi keberadaan makanan di tray.

5. Limit Switch KW10-Z1P  
Saklar mekanik untuk batas akhir gerak tray dan pintu.
6. Motor DC JGY370  
Motor penggerak tray (putaran lambat, torsi besar).
7. Motor Driver BTS7960  
Pengendali arah dan kecepatan motor DC (high current).
8. Regulator Step Down (Buck Converter)  
Modul konversi tegangan (misal: 12V → 5V).

### D. Rangkaian Sistem

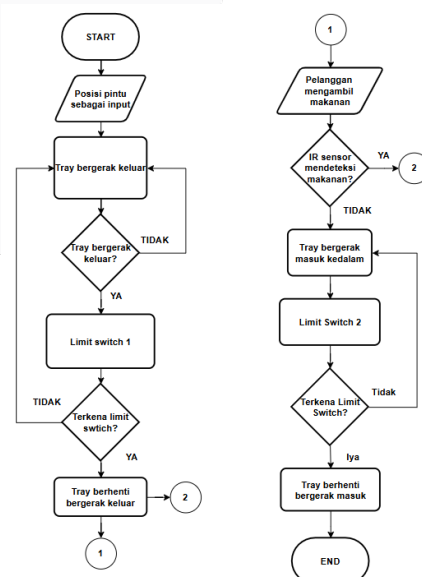
Sebelum melakukan realisasi dari sistem yang akan dibuat, maka dibuatlah rangkaian komponen dalam penelitian ini dalam bentuk diagram



GAMBAR 3  
(RANGKAIAN SISTEM TRAY OTOMATIS PADA ROBOT PENGANTAR MAKANAN)

### E. Diagram Alir Pembuatan Sistem Tray Otomatis

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

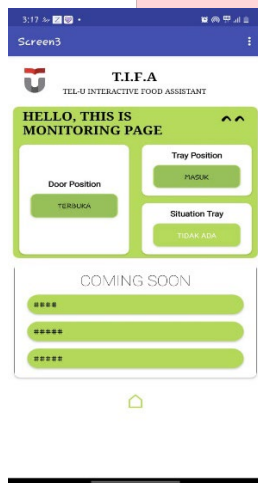


GAMBAR 4  
(DIAGRAM ALIR SISTEM TRAY OTOMATIS)

Pada gambar 4 diatas dapat dijelaskan diagram alir untuk sistem tray diatas dapat dijelaskan sistem tray yakni posisi pintu digunakan sebagai input utama untuk memulai proses. Tray akan bergerak keluar hingga mencapai posisi maksimal dan tray berhenti ketika mengenai limit switch. Pelanggan akan mengambil makanan setelah tray berhenti bergerak keluar. Robot dapat mengetahui apakah makanan telah diambil dengan menggunakan IR sensor. Kemudian tray akan bergerak masuk kembali ke dalam sampai mengenai limit switch kemudian tray akan berhenti bergerak. Pintu akan otomatis tertutup setelah itu. Setelah itu pintu akan tertutup

#### F. Perancangan UI pada Kodular

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



GAMBAR 5  
(TAMPILAN ANTARMUKA APLIKASI)

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengujian Sensor IR FC-51

Pengujian sensor IR FC-51 dilakukan untuk mendeteksi objek makanan pada tray. Sensor diuji pada jarak 5 cm hingga 20 cm. Hasil menunjukkan bahwa pada jarak 5 cm hingga 15 cm, sensor dapat mendeteksi objek dengan akurasi 100%, sedangkan pada jarak di atas 20 cm deteksi mulai tidak stabil. Hal ini menunjukkan bahwa sensor efektif digunakan untuk jarak pendek pada tray.

TABEL 1  
(KALIBRASI SENSOR IR)

Jarak	Keterangan
2 cm	"1" atau Terdeteksi
4 cm	"1" atau Terdeteksi
6 cm	"1" atau Terdeteksi
8 cm	"1" atau Terdeteksi
10 cm	"1" atau Terdeteksi
12 cm	"1" atau Terdeteksi
14 cm	"1" atau Terdeteksi

16 cm	"1" atau Terdeteksi
18 cm	"1" atau Terdeteksi
20 cm	"1" atau Terdeteksi
22 cm	"0" atau Tidak Terdeteksi
24 cm	"0" atau Tidak Terdeteksi
26 cm	"0" atau Tidak Terdeteksi
28 cm	"0" atau Tidak Terdeteksi
30 cm	"0" atau Tidak Terdeteksi

Dari hasil diatas dapat diketahui jika IR sensor FC-51 dapat mendeteksi objek hingga jangkauan 20 cm. Hal ini tidak sesuai dengan *datasheet* yang tertera bahwa IR sensor dapat mendeteksi objek dengan jarak sampai dengan 30 cm, namun untuk penelitian ini jarak yang dibutuhkan sensor IR untuk mendeteksi objek tidak terlalu jauh, sehingga dengan cakupan 20 cm sudah cukup baik untuk digunakan.

#### B. Pengujian Limit Switch

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

TABEL 2  
(PENGUJIAN LIMIT SWITCH)

Percobaan	Kondisi Limit Switch	Kondisi Motor DC
1	1	Berhenti
2	0	Berjalan
3	1	Berhenti
4	0	Berjalan
5	1	Berhenti
6	0	Berjalan
7	1	Berhenti
8	0	Berjalan
9	1	Berhenti
10	0	Berjalan

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 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan pada jarak 5–30 cm. Rata-rata error yang dihasilkan sebesar  $\pm 0.0425$  cm. Error yang sangat kecil ini menunjukkan akurasi tinggi dan keandalan sensor sebagai feedback posisi tray.

TABEL 3  
(PENGUJIAN ULTRASONIC)

No	Percobaan	Jarak Alat Ukur	Jarak Hasil Sensor	Selisih
1	1	2 cm	2.64 cm	+ 0.64 cm
2	2	4 cm	3.49 cm	- 0.51 cm
3	3	6 cm	5.02 cm	- 0.98 cm



4	4	8 cm	8.09 cm	+ 0.09 cm
5	5	10 cm	10.69 cm	+ 0.69 cm
6	6	12 cm	12.73 cm	+ 0.73 cm
7	7	14 cm	15.76 cm	+ 1.76 cm
8	8	16 cm	16.39 cm	+ 0.39 cm
9	9	18 cm	18.34 cm	+ 0.34 cm
10	10	20 cm	19.26 cm	- 0.74 cm
11	11	22 cm	21.17 cm	- 0.83 cm
12	12	24 cm	23.44 cm	- 0.56 cm
13	13	26 cm	25.86 cm	- 0.14 cm
14	14	28 cm	27.57 cm	- 0.43 cm
15	15	30 cm	29.50 cm	- 0.50 cm
16	16	32 cm	31.98 cm	- 0.02 cm
17	17	34 cm	34.29 cm	+ 0.29 cm
18	18	36 cm	36.79 cm	+ 0.79 cm
19	19	38 cm	37.60 cm	- 0.40 cm
20	20	40 cm	40.24 cm	+ 0.24 cm
TOTAL				+0.0425 cm

Dari hasil pengujian diatas didapatkan jika rata-rata selisih dari pembacaan sensor *ultrasonic* HC-SR04 ialah +0.0425 cm. Ini menunjukan jika kesalahan setiap pengukuran cenderung relative kecil (kurang dari 0.1 cm), sehingga sensor masih memiliki fungsi dan tingkat akurasi yang baik dalam melakukan pengukuran jarak.

#### D. Pengujian Sistem Kontrol Motor DC Menggunakan PID Berbasis Jarak Ultrasonic HC-SR04

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem kendali motor DC yang mengimplementasikan algoritma PID dengan umpan balik dari sensor ultrasonik HC-SR04. Tujuan utamanya adalah untuk menilai kemampuan motor dalam berhenti secara otomatis dan presisi pada jarak yang telah ditentukan (8.5 cm dan 27.5 cm), serta mengamati stabilitas dan respons sistem saat mendekati jarak target (setpoint). Program ini memanfaatkan algoritma PID untuk mengatur kecepatan motor berdasarkan selisih antara jarak yang terdeteksi dan nilai setpoint. Nilai setpoint akan disesuaikan secara dinamis tergantung pada posisi objek. Untuk menghitung persentase error, dapat menggunakan rumus dibawah:

$$\text{Persentase Error} = ([\text{Error}]/\text{Target}) \times 100\%$$

Untuk Parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  yang digunakan adalah:

1.  $K_p = 3.6$
2.  $K_i = 0.5$

3.  $K_d = 3.0$

#### • Setpoint 27.5 cm

TABEL 4  
(PENGUJIAN SELURUH KOMPONEN PID DENGAN JARAK 27.5 CM)

Percobaan	Target (cm)	Jarak Aktual (cm)	Error (cm)	Waktu (ms)	Persentase Error (%)
1	27.5	26,79	0,71	5392	2,58%
2	27.5	26,40	1,1	6323	4,00%
3	27.5	26,98	0,52	6219	1,89%
4	27.5	26,21	1,29	6219	4,69%
5	27.5	27,27	0,23	6011	0,84%
6	27.5	26,50	1,00	6116	3,64%
7	27.5	26,50	1,00	6220	3,64%
8	27.5	26,98	0,52	6116	1,89%
9	27.5	27,08	0,42	5907	1,53%
10	27.5	26,98	0,52	6219	1,89%
TOTAL					2,66%

#### • Setpoint 8.5 cm

TABEL 5  
(PENGUJIAN SELURUH KOMPONEN PID DENGAN JARAK 8.5 CM)

Percobaan	Target (cm)	Jarak Aktual (cm)	Error (cm)	Waktu (ms)	Persentase Error (%)
1	8.5	8.13	0,37	5913	4,35%
2	8.5	8.02	0,48	5500	5,65%
3	8.5	8.45	0,05	5500	0,59%
4	8.5	8.13	0,37	5705	4,35%
5	8.5	8.02	0,48	5395	5,65%
6	8.5	8.35	0,15	5500	1,76%
7	8.5	8.45	0,05	5395	0,59%
8	8.5	8.35	0,15	5605	1,76%
9	8.5	8.35	0,15	5395	1,76%
10	8.5	8.02	0,48	5605	5,65%
TOTAL					3,21%

Pengujian kontrol PID dilakukan dengan tiga konfigurasi:

- **$K_p$ :** Error 4,42% (27.5 cm) dan 5,38% (8.5 cm).
- **$K_p + K_d$ :** Error 3,08% (27.5 cm) dan 4,49% (8.5 cm).
- **$K_p + K_i + K_d$ :** Error 2,66% (27.5 cm) dan 3,21% (8.5 cm).

Hasil terbaik diperoleh pada konfigurasi PID penuh ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ), dengan waktu stabil rata-rata 5,3 detik sampai 5.9 detik.

### E. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem tray otomatis pada robot pengantar makanan dengan memanfaatkan motor DC yang dikontrol menggunakan algoritma PID serta sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai sensor jarak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kontrol proporsional ( $K_p$ ) saja, tray masih mengalami error steady-state yang cukup signifikan, yaitu 4,42% pada jarak 27,5 cm dan 5,38% pada jarak 8,5 cm. Penambahan kontrol derivatif ( $K_d$ ) kemudian meningkatkan respon sistem dan meredam osilasi, meskipun error akumulatif belum sepenuhnya terkoreksi. Performa terbaik diperoleh ketika parameter PID lengkap diterapkan ( $K_p = 3.6$ ,  $K_i = 0.5$ ,  $K_d = 3.0$ ), dengan rata-rata error hanya 2,66% pada jarak 27,5 cm dan 3,21% pada jarak 8,5 cm. Hal ini membuktikan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi tinggi, pergerakan tray yang lebih stabil, serta minim osilasi dan overshoot.

Selain akurasi jarak, keberhasilan sistem juga didukung oleh limit switch sebagai pengaman batas gerak tray dan sensor IR yang efektif mendeteksi keberadaan makanan pada jarak yang sudah di uji yakni maksimal 20 cm dengan kondisi pencahayaan yang baik. Integrasi sistem monitoring IoT menggunakan Kodular dan Firebase berjalan dengan baik, memungkinkan pemantauan status tray melalui smartphone secara real-time dengan rata-rata delay 0,25 ms yang cenderung kecil karena dibawah 1 detik.

Secara keseluruhan, sistem ini mampu mendukung pelayanan otomatis di bidang pengantaran makanan, dan mampu menghadirkan makanan yang aman kepada pelanggan, mengurangi ketergantungan tenaga manusia, meningkatkan higienitas, serta meningkatkan efisiensi proses pelayanan penyerahan makanan kepada pelanggan. Hasil pengujian menunjukkan sistem memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut sesuai kebutuhan lapangan..

### REFERENSI

- [1] R. Thaker, "Service Robots in Hospitality and Tourism: Adoption, Challenges, and Long-Term Interaction Article in," *International Journal of Innovative Research in Engineering & Multidisciplinary Physical Sciences*, 2021, doi: 10.5281/zenodo.14001439.
- [2] 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.
- [3] C. Spencer, "Restaurant hires \$1000-a-month robot waiter, leading to tip surge – The Hill." Accessed: Dec. 22, 2024. [Online]. Available: <https://thehill.com/changing-america/resilience/smart-cities/577452-restaurant-hires-1000-a-month-robot-waiter-and-tips/>
- [4] C. Hu, "How robots are actually helping in restaurants | Popular Science." Accessed: Dec. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.popsoci.com/technology/robots-in-restaurants/>
- [5] F. T. Elektro and U. Telkom, *BUKU TUGAS AKHIR CAPSTONE DESIGN Mobilisasi Robot Pengantar Makanan Berbasis Odometry dan QR Detection*. 2023.
- [6] S. P. V, "Introduction To Robotics,," *Springs*, vol. 4, no. 3, 2021, doi: 10.48175/ijarsct-v4-i3-007.
- [7] E. S. Eriana and Drs. A. Zein, "Artificial Intelligence,," *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 6(11), p. 1, 2023.
- [8] HumasTGD, "STMIK TRIGUNA DHARMA - Ayo Mengetahui Apa itu Robotik di Kampus Robotik STMIK Triguna Dharma." Accessed: Dec. 22, 2024. [Online]. Available: <https://fresh.trigunadharma.ac.id/detail/ayomengetahui-apa-itu-robotik-di-kampus-robotik-stmik-triguna-dharma>
- [9] E. A. Prastyo, "Mengetahui Detail tentang Robotika." Accessed: Dec. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.arduino.biz.id/2023/02/mengetahui-detail-tentang-robotika.html>
- [10] A. Malewar, "PuduTech introduced BellaBot, a cute meowing food delivery robot." Accessed: Dec. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.inceptivemind.com/pudutech-bellabot-holabot-cute-meowing-food-delivery-robot/11193/>
- [11] A. Dubey and S. K. Yadav, "Basics of Internet of Things," pp. 1–5, 2024, doi: 10.55041/IJSREM37970.
- [12] 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.
- [13] N. Z.A, Y. P. Roja, and N. Sylvia, "Aplikasi Kontrol PID pada Reaktor Pabrik Asam Formiat dengan Kapasitas 100.000 Ton/Tahun,," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 7, no. 2, p. 135, 2019, doi: 10.29103/jtku.v7i2.1253.
- [14] "Pengontrol PID dan Penjelasan Teorinya - NI." Accessed: Dec. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.ni.com/en/shop/labview/pid-theory-explained.html?srsltid=AfmBOoq0TNanKKQk7NxDUJEhPjmnN98oWpGJDjpPDQNZdkerZgZpNKma>
- [15] W. H. ITB, "Digital PID Controller with Arduino | by Workshop HME ITB | Medium." Accessed: Jan. 04, 2025. [Online]. Available: <https://medium.com/@workshopitb/digital-pid-controller-with-arduino-9f5d7a06acc7>
- [16] S. Zhuge, "PID 'Proportional, Integral, and Derivative' Control Theory." Accessed: Dec. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.crystallinstruments.com/blog/2020/8/23/pid-control-theory>