

**RANCANG BANGUN KENDALI PERGERAKAN ROBOT
PARALEL DELTA 4RRR 4-DOF DENGAN ARDUINO
BERBASIS WEB**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Zein Ari Pamungkas Setyo Nugroho

220341023



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MEKATRONIKA
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

Rancang Bangun Kendali Pergerakan Robot Paralel Delta 4-RRR 4DoF Dengan Arduino Berbasis Web

Oleh:

Zein Ari Pamungkas Setyo Nugroho
220341023

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 28 Agustus 2024

Disetujui,

Pembimbing I,


Nur Jamiludin Ramadhan, S.Tr., M.T.
NIP 199402272020121005

Pembimbing II,

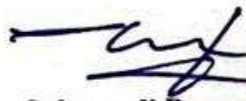

Muhammad Nursyam Rizal, S.Tr.T., M.Sc.
NIP 199503012024061001

Disahkan,

Penguji I,


Ir. Bolo Dwiartom, M. Eng.
NIP 196810301995121001

Penguji II,


Suharyadi Pancono,
Dipl.Ing.HTL., M.T.
NIP 196701171990031004

Penguji III,


Yogi Muldani H, S.ST.,
M.T., Ph.D
NIP 198611222009121004

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Zein Ari Pamungkas Setyo Nugroho
NIM : 220341023
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Mekatronika
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Rancang Bangun Kendali Pergerakan Robot
Paralel Delta 4-RRR 4DoF Dengan Arduino
Berbasis Web

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 28 – 08 – 2024
Yang Menyatakan,

(Zein Ari Pamungkas Setyo N.)
NIM 220341023

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Zein Ari Pamungkas Setyo Nugroho
NIM : 220341023
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Mekatronika
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Rancang Bangun Kendali Pergerakan Robot Paralel Delta 4-RRR 4DoF Dengan Arduino Berbasis Web

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 28 – 08 – 2024
Yang Menyatakan,

(Zein Ari Pamungkas Setyo N.)
NIM 220341023

MOTO PRIBADI

Berangkat dengan penuh keyakinan. Berjalan dengan penuh keikhlasan dan Istiqomah dalam menghadapi cobaan. Hanya kepada Allah saya mengabdikan, memohon ampunan dan pertolongannya.

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya tercinta, kakak saya, teman-teman saya dan semua pihak yang telah membantu saya menyelesaikan tugas akhir ini. Jazakallahu Khairan

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Rancang Bangun Kendali Pergerakan Robot Paralel Delta 4-RRR 4DoF Dengan Arduino Berbasis Web”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Mohammad Nurdin, S.T., M.A.B
2. Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ismail Rokhim, S.T., M.T.
3. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Bapak Dr. Setyawan Ajie Sukarno, S.ST., M.T.
4. Para Pembimbing tugas akhir Bapak Nur Jamiludin Ramadhan, S.Tr., M.T, dan Bapak Muhammad Nursyam Rizal S.Tr.T., M.Sc.

5. Para Penguji siding tugas akhir Bapak Ir. Bolo Dwiartomo, M.Sc. , Bapak Suharyadi Pancono, Dipl. Ing.HTL., M.T. dan Bapak Yogi Muldani H, S.ST., M.T., Ph.D.
6. Ketua Panitia dan segenap Panitia Tugas Akhir
7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Ibu Murti dan Bapak Prasetyo yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Untuk kakak – kakak saya yang telah selalu menyemangati dan senantiasa mendoakan agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Buat sahabat – sahabat saya yang selalu membantu dan menyemangati serta mendoakan dalam kesuksesan

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 28 Agustus 2024

Penulis

ABSTRAK

Robot Paralel Delta 4-DoF merupakan manipulator paralel dengan kombinasi kecepatan, akurasi, dan kapasitas beban tinggi, menawarkan solusi ideal untuk aplikasi industri yang membutuhkan pemindahan cepat dan presisi. Keunggulannya dibandingkan Delta 3-DoF, yaitu ruang kerja yang lebih luas, kekakuan yang lebih tinggi, dan presisi yang lebih tinggi, menjadikannya pilihan tepat untuk berbagai aplikasi seperti pengemasan, manufaktur, dan pencetakan 3D. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan performa optimal robot Delta dengan kecepatan 100 komponen/menit, resolusi 0.085 mm, muatan 1 kg, ruang kerja 250x150 mm, dan kontrol gerak dinamis yang mengikuti konveyor tanpa henti. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem kendali pergerakan robot Delta 4-DoF untuk aplikasi *pick and place* dengan menggunakan antarmuka web serta untuk mengatasi keterbatasan Delta 3-DoF. Simulasi dan eksperimen dilakukan untuk memvalidasi kinerja sistem kendali, menghasilkan presisi dan kekakuan tinggi serta kemampuan *pick and place*. Hasil penelitian ini memiliki nilai error tiap sumbunya yaitu Sumbu X = 9,6 mm, Sumbu Y = 5,2 mm dan rata rata resultan = 11,2 mm. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi robot Delta 4-DoF dan referensi bagi peneliti lain dalam mengembangkan sistem kendali untuk robot paralel ini.

Kata kunci: Antarmuka Web, *Pick and Place*, Robot Paralel Delta 4-DoF, Sistem Kendali, Manipulator Paralel

ABSTRACT

The 4-DoF Delta Parallel Robot is a parallel manipulator that combines high speed, accuracy, and load capacity, offering an ideal solution for industrial applications requiring fast and precise movements. Its advantages over the 3-DoF Delta include a larger workspace, higher rigidity, and greater precision, making it the perfect choice for various applications such as packaging, manufacturing, and 3D printing. Previous research has demonstrated the optimal performance of the Delta robot with a speed of 100 components per minute, a resolution of 0.085 mm, a payload of 1 kg, a workspace of 250x150 mm, and dynamic motion control that follows a continuous conveyor. This research focuses on developing a motion control system for the 4-DoF Delta robot for pick and place applications using a web interface and addressing the limitations of the 3-DoF Delta. Simulations and experiments were conducted to validate the control system's performance, resulting in high precision and rigidity as well as pick and place capabilities. The results of this research show error values for each axis: X-axis = 9.6 mm, Y-axis = 5.2 mm, and average resultant = 11,2 mm. This research contributes to the development of 4-DoF Delta robot technology and serves as a reference for other researchers in developing control systems for this parallel robot.

Keywords: 4-DoF Delta Robot, Motion Control System, Web Interface, Pick and Place Applications, Parallel Manipulator

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-2
I.3 Batasan Masalah.....	I-2
I.4 Tujuan dan Manfaat.....	I-3
I.5 Sistematika Penulisan.....	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	II-1
II.1 Tinjauan Teori	II-1
II.1.1 Robot	II-1
II.1.2 Robot Paralel.....	II-1
II.1.3 Robot Delta	II-2
II.1.4 Matematis Kinematika Robot	II-3
II.2 Tinjauan Alat.....	II-6
II.2.1 Arduino Mega 2560	II-6
II.2.2 Motor Stepper Nema 17	II-7
II.2.3 Driver TB6600	II-8
II.2.4 Visual Studio Code	II-8
II.3 Studi Penelitian Terdahulu	II-9
BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH.....	III-1
III.1 Requirements	III-2
III.2 Arsitektur Sistem	III-2

III.3	Perancangan Mekanik.....	III-3
III.4	Perancangan Elektrik	III-6
III.5	Perancangan Informatik	III-7
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	IV-1
IV.1	Hasil Implementasi Perancangan.....	IV-1
IV.1.1	Implementasi Perancangan Mekanik	IV-1
IV.1.2	Implementasi Perancangan Elektrik.....	IV-4
IV.1.3	Implementasi Perancangan Informatik	IV-4
IV.2	Hasil Pengujian Kendali Pergerakan Robot.....	IV-5
IV.2.1	Pengujian <i>Response Time</i>	IV-6
IV.2.2	Pengujian Torsi <i>Gearbox</i>	IV-7
IV.2.3	Pengujian Akurasi Lengan	IV-8
IV.2.4	Pengujian Kinematika Robot Delta.....	IV-9
IV.2.5	Pengujian Backlash	IV-11
BAB V	PENUTUP.....	V-1
V.1	Kesimpulan.....	V-1
V.2	Saran.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA.....		xv
LAMPIRAN.....		xvii

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Spesifikasi Arduino Mega2560	II-6
Tabel II.2 Spesifikasi Motor Stepper Nema17	II-7
Tabel II.3 Spesifikasi TB6600	II-8
Tabel II.4 Studi Terdahulu	II-9
Tabel IV.1 Daftar I/O Arduino	IV-4
Tabel IV.2 Hasil Pengujian <i>Response Time</i>	IV-6
Tabel IV.3 Hasil Pengujian Torsi <i>Gearbox</i>	IV-7
Tabel IV.4 Hasil Pengujian Akurasi Lengan	IV-8
Tabel IV.5 Hasil Pengujian Akurasi Robot	IV-9

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Konstruksi Dasar Robot Delta.....	II-2
Gambar II.2 Diagram Kinematika Robot Delta[17]	II-3
Gambar II.3 Arduino Mega2560.....	II-6
Gambar II.4 Motor Stepper Nema 17	II-7
Gambar II.5 TB6600	II-8
Gambar II.6 Visual Studio Code.....	II-9
Gambar III.1 VDI 2206.....	III-1
Gambar III.2 Gambaran Umum Sistem	III-3
Gambar III.3 Perancangan Robot Delta	III-3
Gambar III.4 Gambar Kerja Lengan Robot	III-4
Gambar III.5 Gambar Kerja <i>Endeffector</i>	III-4
Gambar III.6 Gambar Kerja <i>Base</i>	III-5
Gambar III.7 Perancangan <i>Gearbox</i>	III-5
Gambar III.8 Area Kerja Robot Paralel Delta.....	III-6
Gambar III.9 Perancangan Elektrik : (a) Sumber Tegangan, (b) Arduino.....	III-7
Gambar III.10 <i>Flowchart Homing</i>	III-8
Gambar III.11 <i>Flowchart</i> Manual Jog	III-9
Gambar III.12 <i>Flowchart</i> Input Koordinat	III-9
Gambar III.13 Desain Halaman Login.....	III-10
Gambar III.14 Desain Halaman Kontrol Robot	III-10
Gambar IV.1 <i>Panel Box</i>	IV-1
Gambar IV.2 <i>Panel Box</i> Dalam	IV-2
Gambar IV.3 Tampak depan robot.....	IV-2
Gambar IV.4 Tampak atas robot.....	IV-3
Gambar IV.5 <i>Gearbox</i>	IV-3
Gambar IV.6 Halaman login web	IV-5
Gambar IV.7 Halaman kendali robot	IV-5
Gambar IV.8 Kurva Distribusi Normal Akurasi Robot	IV-9
Gambar IV.9 Hasil Pengujian <i>Repeatability</i>	IV-10
Gambar IV.10 Kurva Distribusi Normal <i>Repeatability</i>	IV-10

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian <i>Response Time</i>	xvii
Lampiran 2 Pengujian Torsi Gearbox	xvii
Lampiran 3 Pengujian Kinematika Robot Delta	xviii
Lampiran 4 Data Hasil Pengujian <i>Repeatability</i>	xix
Lampiran 5 Pengujian akurasi lengan	xx

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

DoF	= <i>Degree of Freedom</i>
RPA	= <i>Robotic Process Automation</i>
CNC	= <i>Computer Numerical Control</i>
VDI	= <i>Verein Deutscher Ingenieure</i>
V	= Tegangan [Volt]
AC	= Alternating Current
DC	= Direct Current
N	= Newton
m	= Meter
mm	= Milimeter
m/s ²	= Meter per detik kuadrat
Kg	= Kilogram
Nm	= Newton meter
ms	= Milisecond (milidetik)
%	= Persen
°	= Derajat

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

RPA (*Robotic Process Automation*) adalah teknologi yang digunakan untuk mengotomatisasi tugas-tugas yang membosankan, berulang, dan dapat diprediksi dalam proses bisnis. Teknologi ini penting untuk Industri 4.0 karena dapat membantu meningkatkan kinerja, efisiensi, dan produktivitas [1] - [3]. Robot adalah mesin yang dapat bergerak dan dikendalikan oleh komputer. Mereka dirancang untuk memahami lingkungan mereka dan mengambil tindakan sesuai dengan itu[4]. Ada banyak jenis robot, tetapi yang sering digunakan pada industri adalah robot seri dan robot paralel. Robot paralel adalah robot yang dapat bergerak dengan cepat dan tepat. Robot ini memiliki beberapa lengan yang terhubung ke sebuah platform. Lengan-lengan ini digerakkan oleh motor-motor yang dikendalikan oleh komputer[5]. Mekanisme paralel memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan mekanisme seri, yaitu kekakuan yang lebih baik, akurasi yang lebih tinggi, dan kapasitas pengangkutan beban yang lebih besar[6]. Salah satu jenis robot paralel yaitu robot delta.

Robot Delta adalah salah satu jenis robot paralel yang paling banyak digunakan di industri. Robot paralel lainnya yang memiliki keunggulan berupa bobot ringan, inersia rendah, konsumsi energi rendah, dan kecepatan tinggi adalah manipulator fleksibel. Robot Delta memiliki lengan yang fleksibel dan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi industri.[7], [8]. Robot delta adalah jenis robot paralel yang dikembangkan pada awal tahun 1980 oleh Reymond Clavel dan timnya. Robot ini dirancang untuk mengontrol lintasan produk yang ringan dan kecil dengan kecepatan tinggi. Keunggulan robot delta ini membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi industri, seperti pengemasan, manufaktur, dan pencetakan 3D[9]. Robot paralel delta 3-DoF memiliki beberapa keterbatasan, yaitu ruang kerja yang terbatas, kekakuan yang lebih rendah dan presisi yang lebih rendah dan dengan menambahkan derajat kebebasan ke robot paralel memiliki banyak

keuntungan. Hal ini dapat meningkatkan kekakuan dan ruang kerja robot, serta membuatnya lebih cepat dan presisi, dengan diusulkannya robot paralel 4-DoF. sehingga cocok untuk berbagai aplikasi industri[10].

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem kendali pergerakan robot paralel delta 4-DoF untuk aplikasi *pick and place*. Sistem kendali ini menggunakan kontroler PID dan antarmuka web. Penelitian ini diharapkan dapat mengatasi keterbatasan robot paralel delta 3-DoF, yaitu kekakuan yang rendah, dan presisi yang rendah dalam sistem *pick and place*.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana rancangan konstruksi Robot Paralel Delta 4-DoF untuk diimplementasikan pada sistem *pick and place*?
2. Bagaimana sistem kendali dari Robot Paralel Delta 4-DoF untuk diimplementasikan pada sistem *pick and place*?
3. Bagaimana membuat antarmuka untuk mengendalikan Robot Paralel Delta 4-DoF untuk diimplementasikan pada sistem *pick and place*?
4. Bagaimana mengendalikan pergerakan robot paralel delta pada sistem *pick and place*?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Konstruksi robot delta dibuat dari aluminium dan 3D print dengan motor penggeraknya adalah motor stepper nema 17.
2. Tinggi robot adalah 1 meter dan lebarnya adalah 0.5 meter.
3. Mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Mega 2560.
4. Sistem pada robot yang digunakan yaitu sistem *pick and place*.
5. Robot terhubung dengan antarmuka local host yang berisi fitur-fitur dasar, seperti tombol untuk menggerakkan robot ke arah tertentu dan tombol untuk mereset posisi robot ke posisi awal.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Rancang bangun kendali pergerakan Robot Paralel Delta 4-DoF bertujuan untuk.

1. Merancang dan membuat konstruksi Robot Paralel Delta 4-DoF untuk diimplementasikan pada sistem *pick and place*
2. Menerapkan sistem kendali dari Robot Paralel Delta 4-DoF untuk diimplementasikan pada sistem *pick and place*
3. Membuat antarmuka untuk mengendalikan Robot Paralel Delta 4-DoF untuk diimplementasikan pada sistem *pick and place*
4. Mengimplementasikan rumus kinematika untuk mengendalikan pergerakan robot paralel delta pada sistem *pick and place*.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika proposal Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi hasil yang di dapat, dan pembahasan atau analisa dari hasil yang di dapat.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan dari hasil yang di dapat.