

Evaluasi Kinerja Manipulator Paralel 3-RRPaR pada Operasi *Pick and place*

Performance Evaluation of 3-RRPaR Parallel Manipulator in Pick and place Operation

Anrinal¹, Muhammad Apri Zamhari², Asmara Yanto^{1,*}

¹ Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

² Undergraduated Program of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

[doi.10.21063/jtm.2025.v15.i1.1-7](https://doi.org/10.21063/jtm.2025.v15.i1.1-7)

Correspondence should be addressed to asmarayanto@itp.ac.id

Copyright © 2025 A. Anrinal, M.A. Zamhari & A. Yanto. This is an open access article distributed under the [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Article Information

Received:
Januari 23, 2025
Revised:
March 14, 2025
Accepted:
April 14, 2025
Published:
April 30, 2025

Abstract

This study evaluates the performance of a 3-RRPaR parallel manipulator designed to perform pick-and-place operations. The manipulator consists of three actuators driven by stepper motors, which are controlled through a G-code interface using Universal G-Code Sender. Motion commands are input via a computer, enabling the robot to follow predefined trajectories. During testing, the manipulator was programmed to move within a circular workspace with a radius of 100 mm on the X and Y axes. The actual movement reached only 98 mm, resulting in a positioning error of approximately 2 mm. The observed inaccuracies are primarily attributed to structural inconsistencies between the upper and lower frames, unequal lengths of the passive links, and the use of a non-permanent clutch mechanism. These findings highlight the importance of mechanical precision and structural symmetry in enhancing the accuracy of parallel manipulator systems.

Keywords: Parallel Manipulator, 3-RRPaR, Pick and place, Positioning Accuracy, Stepper Motor Control

1. Pendahuluan

Kebutuhan manusia akan teknologi yang lebih modern dan praktis menjadi lebih meningkat, salah satunya adalah sistem pengendalian otomatis. Pekerjaan yang pada awalnya dilakukan secara manual, diupayakan agar dapat dikerjakan secara otomatis dengan penerapan komputer pada sistem pengendaliannya. Perpaduan antara komputer dengan peralatan mekanis, tentu akan menjadi dimensi baru yang diminati oleh banyak orang. Salah satu pekerjaan yang dengan menerapkan sistem otomasi adalah memindahkan suatu bahan atau barang dari suatu tempat ke tempat lain.

Memindahkan bahan dalam jumlah yang banyak tentu saja sangat memungkinkan terjadi

ketidaksesuaian dari tuntutan yang diinginkan. Beberapa pekerjaan pemindahan yang membutuhkan waktu yang cepat, sebagai contoh diantaranya adalah memasukan biskuit atau makanan ringan ke dalam kotak pengemasan di dalam industri makanan. Pekerjaan tersebut membutuhkan proses pemindahan yang berulang-ulang dengan tuntutan jarak tertentu. Apabila dilakukan secara manual dengan tenaga manusia dalam jumlah yang banyak, maka manusia akan mengalami kelelahan dan ketika lelah maka konsentrasi dalam memindahkan makanan ringan tersebut tidak lagi sesuai dengan yang ditentukan dan makanan bisa mengalami kerusakan.

Penggunaan robot industri adalah komponen utama dalam teknologi otomasi yang dapat berfungsi sebagai layaknya pekerja manusia di dalam pabrik, namun memiliki kemampuan bekerja secara terus menerus tanpa lelah. Salah satu robot yang sering digunakan di industri adalah robot manipulator. Hal ini dibuktikan dengan kenaikan penjualan robot industri sebesar 59% yaitu 183.000 unit pada tahun 2016 untuk kawasan Asia saja. Contoh penggunaan robot manipulator terdapat pada proses pemindahan barang. Dalam melakukan tugas tersebut, robot manipulator memindahkan barang dari satu titik ke titik yang lain. Dalam melakukan perpindahan tersebut diperlukan sebuah metode untuk membuat robot bergerak ke posisi yang diinginkan. Kebutuhan tersebut membuat banyak penelitian mengenai pergerakan robot manipulator, Richard P. Paul telah berhasil menurunkan persamaan kinematika untuk setiap manipulator yang ditentukan dari posisi dalam koordinat Cartesian dan orientasi dari end effector yang diberikan dari koordinat masing-masing joint yang ada pada manipulator.

Kemudian Jin Huang pada tahun 2012 telah membuat simulasi untuk pergerakan joint pada manipulator menggunakan metode inverse kinematics yang lebih efisien dan akurat, namun belum diterapkan pada manipulator sesungguhnya. Pada tahun 2013, Yang Si menemukan solusi metode inverse kinematics pada robot manipulator 4 DOF (Degree of Freedom). Berdasarkan penelitian ini, untuk menyelesaikan permasalahan inverse kinematics tergantung dari struktur kinematika dari manipulator. Dengan begitu prosedurnya pun berasal dari seberapa panjang perubahan struktur manipulator. Penurunan metode inverse kinematics dapat diketahui setelah dilakukan analisa kinematika pada robot manipulator tersebut. Model kinematika didapatkan dengan menggambarkan geometri dari robot. Dari gambar geometri tersebut dapat ditemukan Denavit-Haternberg Parameter dan matriks transformasi homogenya. Setelah didapatkan hasil permodelan kinematika dari robot manipulator, maka dapat dihitung inverse kinematics dari robot manipulator tersebut. Metode inverse kinematics digunakan untuk menghitung sudut-sudut setiap joint pada manipulator dengan posisi end effector yang telah diketahui.

Robot manipulator merupakan robot dengan lengan yang memberikan gerakan robot untuk memutar, melipat, dan menjangkau objek. Gerakan ini disebut dengan Degree of Freedom

(DoF) atau jumlah sumbu yang ada pada robot. Manipulator terdiri dari beberapa segment (link) dan sambungan (joint). Manipulator memiliki 2 bagian, yaitu bagian dasar (base) dan bagian tambahan. Bagian base manipulator bisa kaku (rigid bodies) terpasang pada lantai area kerja (workspace). Bagian tambahan merupakan perluasan dari bagian base, biasa disebut juga lengan (arm). Bagian ujungnya terpasang efektor (end-effector) yang berfungsi sebagai tool yang akan melakukan suatu pekerjaan pada bagian ujung robot. Manipulator digerakan oleh aktuator (actuator) atau disebut sistem drive. Aktuator atau sistem drive menyebabkan gerakan yang bervariasi dari manipulator [1]. Robot manipulator disusun (assembly) dari serangkaian rigid bodies, link dan joint yang menjadi penghubung antar link. Setiap posisi joint ditentukan dengan variabel tunggal sehingga jumlah joint sama dengan nilai DoF [2].

Robot manipulator sangat bermanfaat dan pada era industri 4.0 dan banyak dipakai dalam bidang industri, terutama dalam bagian manufacturing dan packing dalam suatu pabrik. Selain untuk menghemat waktu, robot digunakan agar menghasilkan produk yang jauh lebih baik dari pada menggunakan mesin-mesin konvensional atau tangan manusia [3].

Sejalan dengan perkembangan teleoperators adalah pengembangan peralatan mesin Computer Numerically Controlled (CNC) untuk milling yang akurat untuk suku cadang pesawat bervolume rendah dan berperforma tinggi. Robot pertama “Unimate” pada Gambar 2.2, yang dikembangkan oleh George Devol pada tahun 1959, menggantikan manipulator master teleoperator dengan kemampuan program pengontrol alat mesin CNC [4].

Di era revolusi industri keempat, mekatronika dan robotika memainkan peran yang semakin penting. Dibandingkan dengan manipulator robot serial, manipulator robot paralel memiliki keuntungan akurasi yang lebih tinggi, karena kesalahan antara pin dikompensasi satu sama lain tanpa harus menumpuk disatu pin yang sama, massa link bergerak lebih ringan, stabilitas yang lebih baik. Meskipun kerugian dari robot paralel adalah bahwa ruang kerjanya lebih kecil dan memerlukan analisis singularitas yang lebih kompleks daripada robot serial, robot manipulator sering digunakan untuk tugas dengan kecepatan tinggi dan presisi tinggi [5].

Robot manipulator dengan satu lengan memiliki lengan yang dapat dianggap sebagai

sebuah balok kantilever, dimana salah satu ujungnya dijepit dan ujung lainnya bebas. Teori yang terkenal dalam menurunkan model matematika untuk sebuah balok adalah Teori Euler-Bernoulli. Kemudian Rayleigh memperbaiki model Euler-Bernoulli ini dengan menambahkan efek inersia rotasional yang disebabkan oleh gerak rotasi dari cross-section selama terjadi getaran pada balok [6].

Sebuah robot industri terdiri dari manipulator robot, power supply, dan pengendali. Robot Manipulator terdiri dari beberapa sendi yang dihubungkan. Pergelangan digunakan untuk mengarahkan posisi benda di lokasi kerja. Robot manipulator diciptakan dari urutan link dan kombinasi bersama. Link adalah anggota kaku yang menghubungkan sendi. Sumbu adalah komponen bergerak dari robot manipulator yang menyebabkan gerakan relatif antara link sebelah. Sendi mekanis digunakan untuk membangun lengan manipulator robot. Sendi mekanis terdiri dari lima jenis utama yaitu dua dari sendi yang linear dan tiga jenis rotari. Dua dari sendi linier adalah gerakan relatif antara link yang berdekatan atau disebut dengan non-rotasi. Sedangkan tiga jenis rotari yaitu gerakan relatif yang melibatkan rotasi antara link [7].

Robot manipulator adalah bagian mekanik yang dapat difungsikan untuk memindah, mengangkat, dan memanipulasi benda kerja. Robot manipulator merupakan jenis robot lengan dengan material lengan pembawa beban. Robot manipulator dapat membawa beban dengan lokasi yang berpindah-pindah, berbahan material tipis, lebih ringan, lebih hemat dalam konsumsi daya, hanya memerlukan aktuator yang kecil, lebih mudah dioperasikan, serta lebih murah dalam proses manufacturing. Saat ini robot banyak digunakan di dunia industri seiring dengan perkembangan teknologi yang cepat dan produksi yang fleksibel. [8].

Robot paralel adalah struktur mekanik spasial yang terdiri dari rantai tertutup kinematik. Umumnya, manipulator paralel, memiliki dua platform. Salah satunya melekat pada bingkai referensi fix. Yang lain dapat memiliki gerakan sewenang-wenang di ruang kerjanya. Tiga kaki bergerak, dibuat sebagai robot serial, menghubungkan effector, yang melekat pada platform bergerak, ke platform tetap. Elemen-elemen robot terhubung satu sama lain oleh sendi bola, sendi revolute atau sendi prismatic [9].

Robot manipulator paralel adalah mekanisme loop tertutup dimana end-effector

akhir terhubung dengan dua pangkalan rantai kinematik independen. Manipulator paralel penuh merupakan mekanisme loop tertutup dengan end-effector memiliki derajat kebebasan (Degree Of Freedom) yang terhubung ke basis rantai kinematik independen yang memiliki maksimal dua tautan yang digerakkan oleh aktuator prismatic [10].

Manipulator paralel adalah jenis robot yang terdiri dari platform bergerak, dasar dan dua atau lebih anggota badan. Seluruh sistem membentuk loop tertutup [11].

Robot serial merupakan robot yang memiliki struktur kinematiknya berbentuk rantai loop terbuka terdiri dari beberapa tautan yang dihubungkan secara seri oleh berbagai jenis sambungan, biasanya revolute dan prismatic. Salah satu ujung robot melekat pada ground dan ujung lainnya bebas bergerak di ruang angkasa. Tautan tetap disebut alas, dan ujung bebas tempat gripper atau tangan mekanis terpasang, efektor ujung robot manipulator serial [12].

Manipulator paralel 3-RRPaR berbasis arduino uno adalah robot yang lengan-lengannya memiliki sambungan (*joint*) prismatic (translasi) dan putar (rotasi) yang bergerak bersamaan. Aktuator pada paralel manipulator 3-RRPaR diletakkan pada basis sehingga terdapat sambungan pada basis saja yang bergerak secara aktif. Alat ini menggunakan motor stepper sebagai sumber penggerak nya. dimana mekanik akan bergerak sesuai dengan file yang dikirimkan melalui mikrokontroler Arduino Uno ke Driver motor L293D dan motor stepper. Agar menjadi sebuah robot manipulator paralel 3-RRPaR diperlukan proses Perancangan dan Analisis Struktur Manipulator Paralel 3-RRPaR, analisis gerak dan perancangan sistem kontrol manipulator paralel 3-RRPaR, analisis performa manipulator paralel 3-RRPaR dan desain sistem manufaktur manipulator paralel 3-RRPaR.

Robot paralel memiliki keunggulan untuk banyak aplikasi di bidang robotika, seperti rigiditas, kecepatan, gerak rendah massa dan akurasi yang superior. Namun, kelemahan utama dari robot paralel adalah ruang kerjanya yang kecil dan kemampuan manipulasinya yang terbatas di area tertentu di ruang tersebut.

Beberapa inisiatif penelitian yang dilakukan dalam domain ini, terutama yang dilakukan oleh Clavel, telah menghasilkan arsitektur inovatif seperti robot DELTA yang terkenal.

Robot DELTA telah menarik banyak perhatian baik di dunia akademis maupun industri. Literatur berisi banyak informasi

tentang sejarah dan jenis robot paralel. Secara umum, robot DELTA terdiri dari alas segitiga sama sisi, dengan satu lengan (digerakkan melalui sambungan revolute) yang memanjang dari setiap sisi. Pelat kecil berbentuk segitiga dihubungkan ke setiap lengan oleh sepasang lengan bawah berbentuk jajaran genjang. Hasilnya adalah tiga derajat kebebasan translasi, dengan satu derajat kebebasan rotasi tambahan yang tidak digabungkan pada end-effector, menghasilkan satu motor yang dipasang ke alas dan dihubungkan ke end effector oleh lengan teleskopik dengan dua sambungan universal [13].

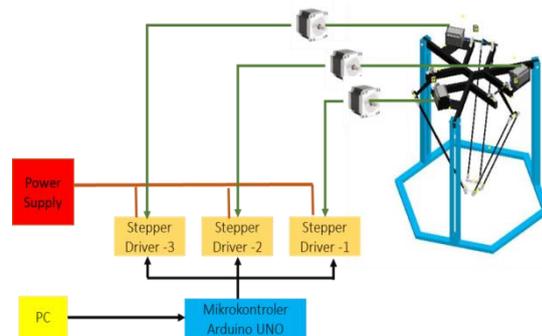
Robot industri paralel delta adalah jenis robot koneksi paralel. Karena strukturnya yang kompak, beban kaku yang besar, dan kesalahan sambungan yang lebih sedikit, ini adalah salah satu robot yang paling banyak digunakan. Di dalam struktur mekanisnya, platform tetap, tiga tautan input, dan platform bergerak dihubungkan bersama oleh tiga tautan yang terdiri dari empat tautan paralel. Karena tautan atas sejajar dengan tautan bawah dalam empat tautan paralel, platform yang bergerak selalu sejajar dengan platform tetap, yang diamankan oleh tiga tautan paralel. Ini memberikan kemampuan gerakan tiga derajat kebebasan (3DOF) dalam area yang telah ditentukan, dengan bantuan struktur mekanisnya yang unik. Karena arsitektur paralel, tidak ada simpangan kumulatif pada sumbu manapun [14].

Manipulator paralel 3-RRPaR berbasis arduino uno adalah robot yang lengan-lengannya memiliki sambungan (*joint*) prismatic (translasi) dan putar (rotasi) yang bergerak bersamaan. Aktuator pada parallel manipulator 3-RRPaR diletakkan pada basis sehingga terdapat sambungan pada basis saja yang bergerak secara aktif. Alat ini menggunakan motor stepper sebagai sumber penggerak nya. dimana mekanik akan bergerak sesuai dengan file yang dikirimkan melalui mikrokontroler Arduino Uno ke Driver motor L293D dan motor stepper. Agar menjadi sebuah robot manipuator paralel 3-RRPaR diperlukan proses Perancangan dan Analisis Struktur Manipulator Paralel 3-RRPaR, analisis gerak dan perancangan sistem kontrol manipulator paralel 3-RRPaR, analisis peforma manipulator paralel 3-RRPaR dan desain sistem manufaktur manipulator paralel 3-RRPaR. [14].

Berdasarkan uraian di atas, diperlukan untuk menganalisa kinerja Robot Manipulator Paralel 3-RRPaR untuk memindahkan material.

2. Metode

Penelitian ini berbasis penelitian robotika yang dimulai dengan membuat desain awal berupa *sketsa* sebuah robot paralel manipulator dan dilanjutkan dengan pengujian sistem kontrol. Pada tahapan ini, terlebih dahulu didefinisikan *link-link* dan *joint-joint* dari robot paralel manipulator. Kemudian dilakukan pembuatan bagian-bagian *kerangka*. Semua bagian-bagian kerangka selanjutnya dirakit atau di-*assembling*. Jika semua bagian-bagian *rangka* telah ter-*assembling* sempurna, maka tahapan desain selesai dan dapat diteruskan ke tahapan simulasi dengan memakai sistem kontrol dengan *software* Arduino Uno. Pada tahapan simulasi, semua kemungkinan gerakan robot disimulasikan agar diperoleh daerah kerja (*workspace*) dari Robot paralel Manipulator. Tahapan berikutnya adalah mengontrol gerak robot dari 3 link aktif dan 3 link pasif.



Gambar 1. Skema Sistem Kontrol Robot Manipulator Paralel 3-RRPaR

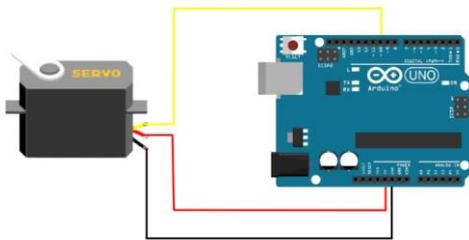
Pada diagram kontrol pertama hal yang dilakukan adalah mempersiapkan komponen komponen yang akan dilakukan untuk pengontrolan setelah itu siapkan motor stepper dan motor servo yang akan di kontrol untuk dilakukan pengujian, kemudian sambungkan kabel motor ke driver untuk menghidupkan motor stepper, setelah dilakukan penyambungan kabel motor dengan driver dimana kabel hitam (a+) hijau (a-) merah (b+) biru (b-) selanjutnya pasang kabel PUL+, DIR +, DAN ENA+ disambungkan ke GND arduino sedangkan PUL-, DIR-, Dan ENA – di sambungkan ke pin arduino 5,6,7 dan power supply di sambungkan dengan GND dan VCC ada di driver. Untuk servo B,C,Z itu di sambungkan dengan 5v yang ada di arduino dan untuk kabel warna hitam disambungkan ke GND dan kabel karna kuning disambungkan dengan pin input yang ada di arduino barulah di lakukan pengontrolan dengan menggunakan *software* arduino.

3. Hasil dan Pembahasan

Proses pengujian robot manipulator paralel 3-RRPaR meliputi berikut ini:

Analisa Gerak Grepper

Pada Gambar 2 dapat kita lihat Skema Pengujian gripper pada motor Servo dengan rangkaian di bawah bisa kita lihat posisi pin mode motor servo berada pada pin mode 11 dengan memakai kabel jamper hitam (GND) dan kabel merah input (5V). pengujian ini di lakukan agar motor servo bisa bekerja pada saat percobaan memasukan program robot ke arduino.



Gambar 2. Skema Pengujian gripper

Pengaturan kontrol gerak gripper diatur dengan menggunakan PC / laptop, pengaturan dilakukan agar memudahkan pengambilan data dengan pengaturan kontrol gripper.

Tabel 1. Pengaturan kontrol gripper

No	Diameter buka (pul)	Diameter tutup (pul)
1	400	0
2	400	0
3	500	200

Pengujian *pick and place* searah sumbu X

Pengujian searah sumbu X ini memiliki tiga jenis spesimen, masing-masing spesimen memiliki berat yang berbeda-beda yaitu spesimen satu dengan berat 7,3 gr, spesimen dua 26,4 gr, spesimen tiga 49,9 gr. Hasil pengujian *pick and place* robot searah sumbu X terdapat pada Tabel 2. Pada Tabel 2 ini dapat dilihat pengujian searah sumbu X dengan spesimen pertama, kedua dan ketiga dengan panjang R 100 mm dan aktual 98 mm terdapat error 2 mm. Jadi dalam pengujian spesimen ini dapat kita simpulkan bahwa hasil yang di dapat tidak akurat dikarenakan ada masalah di bagian desain manufakturnya.

Pengujian *pick and place* searah sumbu Y

Pada pengujian searah sumbu Y ini memiliki tiga jenis spesimen, masing-masing spesimen

memiliki berat yang berbeda-beda yaitu spesimen satu dengan berat 7,3 gr, spesimen dua 26,4 gr, spesimen tiga 49,9 gr. Hasil pengujian *pick and place* robot searah sumbu Y terdapat pada Tabel 3.

Tabel 2. Evaluasi *pick and place* searah sumbu-X

No	Nama spesimen	R (mm)	Aktual (mm)	Error (mm)	Gambar Proses Pengujian
1	Spesimen 1	100	98	2	
2	Spesimen 2	100	98	2	
3	Spesimen 3	100	98	2	

Tabel 3. Evaluasi *pick and place* searah sumbu-Y

No	Nama spesimen	R (mm)	Aktual (mm)	Error (mm)	Gambar Proses Pengujian
1	Spesimen 1	100	98	2	
2	Spesimen 2	100	98	2	
3	Spesimen 3	100	98	2	

Pada Tabel 3 dapat dilihat pengujian spesimen searah sumbu Y dengan spesimen satu, spesimen dua dan spesimen ketiga dengan panjang R 100 mm dan aktual 98 mm terdapat error 2 mm. Jadi dalam pengujian ini dapat kita simpulkan bahwa hasil yang di dapat tidak akurat dikarenakan ada masalah di bagian desain manufakturnya.

Dari hasil pengujian *pick and place* gripper diatas dapat di simpulkan bahwa hasil yang di dapat setelah di lakukan pengujian tiga buah

spesimen dengan berat berbeda-beda pada pengujian searah sumbu X dan pengujian searah sumbu Y dengan hasil yang kurang akurat atau tidak presisi. Pada pengujian searah sumbu X yang di lakukan lima kali pengujian dengan berat benda yang sama dan hasil yang sama, ternyata pada pengujian kelima benda mengalami jatuh atau tidak sama pada pengujian pertama, kedua, ketiga dan keempat. Hal ini disebabkan terjadinya kesalahan pada pengaturan kontrolnya atau titik koordinatnya tidak tepat dan pengujian searah sumbu Y dilakukan dengan tiga buah spesimen dengan berat yang berbeda-beda dan hasil yang didapat sama yaitu 98 mm dengan error 2 mm. Setelah dilakukan pengujian searah sumbu X dan searah sumbu Y hasil yang di dapatkan tidak akurat dan terjadinya error 2 mm. Hal ini diakibatkan adalah sebagai berikut :

- a) Karena terjadinya slip pada kopling menyebabkan poros link aktif menjadi haus.
- b) Kopling yang di pakai tidak bersifat tetap/mati.
- c) Rangka bagian atas tidak sama lurus terhadap rangka bawah.
- d) Link pasif tidak sama panjang.

4. Simpulan

Bedasarkan hasil Pengujian Robot Manipulator Paralel 3-RRPaR ini dapat disimpulkan bahwa arah sumbu X dan sumbu Y diatur dengan R 100 mm, aktualnya 98 mm dengan error yang terjadi 2 mm. Pengujian ini di lakukan dengan tiga buah spesimen dengan berat spesimen yang berbeda-beda.

Pada pengujian searah sumbu X yang di lakukan lima pengujian dengan berat spesimen yang sama dan terdapat error 2 mm, pada pengujian kelima searah sumbu X benda mengalami jatuh hal ini di sebabkan pengaturan kontrolnya atau titik koordinatnya tidak tepat.

Setelah dilakukan pengujian secara keseluruhan, bahwa hasil yang didapat tidak aktual dan terdapat errornya 2 mm, hal ini disebabkan bahwa tingkat kepresisian kinerja robotnya tidak presisi dan proses manufakturs rangka bagian atas tidak sama lurus terhadap rangka bagian bawah, link pasifnya tidak sama panjang dan kopling yang di pakai tidak bersifat tetap.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada seluruh Staf Teknik Mesin Institut Teknologi Padang yang

telah memberikan kontribusi sehingga artikel ini dapat diselesaikan.

Referensi

- [1] Anshori, D. Y. (2017). Pengendalian Posisi Sudut Joint Robot Manipulator 4 DOF (Degree of Freedom). Institut <http://repository.its.ac.id/47947/>
- [2] Utomo, B., & Munadi. (2013). Analisa Forward dan Inverse Kinematics pada Simulator Arm Robot 5 Derajat Kebebasan. 1(3), 11–20.
- [3] Wibowo, A. (2020). Prototipe Robot Manipulator Sendi Lengan (Joint-Arm) Berbasis 29 Arduino Uno Pada Sistem Pemilah Barang. In Laporan Penelitian Mandiri. <http://repository.unas.ac.id/883/>
- [4] Murray, R. M., Li, Z., & Shankar Sastry, S. (2017). A mathematical introduction to robotic manipulation. In A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation. <https://doi.org/10.1201/9781315136370>
- [5] Hoang, N. Q., Boudon, B., BAE, H.-J., DANG, T. T., & Bouzgarrou, C. (2022). Modeling of parallel manipulators with flexible links and joints driven by electric actuators. Vietnam Journal of Mechanics, 44(4), 474–489. <https://doi.org/10.15625/0866-7136/17944>
- [6] Dermawan, Sultan, A. Z., & Muhammad, A. K. (2009). Uji Getaran Robot Manipulator Yang Bergerak Translasi Dan Rotasi. 2000, 279–286.
- [7] Alfianto, M. A., Sugandi, B., & Toar, H. (2017). Kendali Lengan Robot Manipulator Menggunakan Kamera Stereo. Journal Of Applied Electrical Engineering, 1–6.
- [8] Alici, G., & Shirinzadeh, B. (2005). A systematic technique to estimate positioning errors for robot accuracy improvement using laser interferometry based sensing. Mechanism and Machine Theory, 40(8), 879–906.
- [9] Staicu, S., & Carp-Ciocardia, D. C. (2003). Dynamic analysis of Clavel's delta parallel robot. Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, 3(May), 4116–4121. <https://doi.org/10.1109/robot.2003.1242230>
- [10] Merlet, J. P. (1993). Parallel manipulators: state of the art and

- perspectives. *Advanced Robotics*, 8(6), 589–596.
<https://doi.org/10.1163/156855394X00275>
- [11] Zhang, D., & Wei, B. (2017). Modelling and optimisation of a 4-DOF hybrid robotic manipulator. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(11), 1179–1189.
<https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1305505>
- [12] Pandilov, Z., & Dukovski, V. (2014). Comparison of the Characteristics Between Serial and Parallel Robots. *Fascicule*, 1, 2067–3809.
- [13] Lin, Jonqlan, Ci-Huang Luo, and Kao-Hui Lin. "Design and implementation of a new delta parallel robot in robotics competitions." *International Journal of Advanced Robotic Systems* 12.10 (2015): 153.
- [14] Anrinal, Asmara Yanto dan Redo Kurnia Illahi, "Desain Disain Sistem Manufaktur Manipulator Paralel 3-RRPaR," *JTM - ITP*, vol. 14, no.2, oktober 2024, pp. 1-7.