

Rancang Bangun Robot Delta Berbasis Arduino Uno

Rizky Setyawan¹, Prihadi Murdiyat², Marson Ady Putra³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

e-mail rizkysetyawan20612043@gmail.com

Abstrak- Industri adalah salah satu sektor yang telah menggunakan robot dalam pekerjaannya untuk memenuhi kebutuhan konsumen secara efisien, terutama dalam tugas *pick and place* yang memerlukan tingkat keamanan, kecepatan, presisi, dan konsistensi yang tinggi. Untuk mencapai tujuan tersebut, telah dikembangkan sebuah robot delta yang cocok untuk menjalankan tugas ini, terutama dalam industri pengemasan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun robot delta yang menggunakan Arduino Uno sebagai kontroler. Penelitian ini juga membahas tentang desain mekanik robot delta, pemrograman Arduino Uno untuk mengontrol robot, serta hasil uji coba dan evaluasi performa robot dalam menjalankan tugas. Hasil akhir dari penelitian ini adalah robot delta yang dapat mengambil dan meletakkan objek benda yang berupa objek kotak secara manual dengan menentukan sudut-sudut motor *Servo* yang telah ditentukan. Lengan atas memiliki panjang antara poros ke poros sejauh 8,3 cm dan panjang dari ujung ke ujung 10 cm. Lengan bawah memiliki panjang antara poros ke poros sepanjang 21,7 cm. Penggunaan *gripper* pada *end effector* mampu menangkap benda dengan lebar maksimum 4 cm. Untuk ketinggian sumbu Z, robot memiliki rentang jangkauan dari 170 mm hingga 305 mm, dan tingkat keberhasilan rata-rata pada setiap perpindahan posisi yang dilakukan robot delta adalah 97.87%, untuk keberhasilan sumbu X = 98.82%, sumbu Y = 97.28%, sumbu +X+Y -X-Y = 99.17%, dan sumbu -X+Y +X-Y = 96.22%, serta robot delta memiliki *error* akurasi rata-rata sebesar 2.19 mm, dengan *error* akurasi paling besar mencapai 4.24 mm ketika kembali ke posisi awal.

Kata kunci: Robot Delta, Arduino Uno, Lengan Atas, Lengan Bawah, *gripper*, Motor *Servo*.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri menghadirkan perubahan signifikan melalui peran penting robot dalam menggantikan tugas-tugas manusia. Robot memiliki keunggulan seperti konsistensi, ketahanan, kecepatan, dan kemampuan program ulang. Di antara variasi robot, *Manipulator* robot sering digunakan dalam dunia industri untuk membantu pekerjaan terutama dalam melakukan tugas *pick & place*, yang membutuhkan keamanan, kecepatan, presisi dan konsistensi. Dalam melakukan *pick & place*, robot *manipulator parallel* merupakan tipe robot yang tepat dalam melakukan *pick & place* terutama dalam pengemasan, salah satu tipe robot yang termasuk dalam *manipulator paralel* tersebut adalah tipe delta.

Penelitian ini merancang bangun robot delta yang dapat memindahkan suatu objek dari suatu tempat ke tempat lainnya menggunakan Arduino UNO sebagai pengendalinya. Robot delta yang akan dirancang mempunyai ukuran yang standar dan menggunakan empat buah aktuator sebagai penggerak robot delta. Dimana tiga aktuator terdapat pada tiga lengan robot yang

menggunakan motor *Servo* DS3225 MG untuk penggerak sendi-sendi robot yang berada disetiap *joint*, dan satu aktuator pada *gripper* menggunakan motor *Servo* SG90. Robot delta ini akan bertugas untuk mengambil benda pada area kerja kurang lebih 210 mm pada sumbu horizontal (X dan Y), dan 305 mm pada sumbu vertikal (Z) dengan menggunakan *gripper* dan meletakkannya pada posisi tertentu.

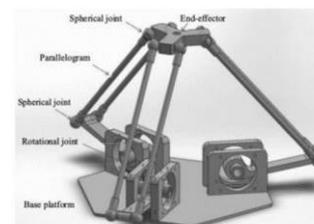
Penelitian ini terdiri dari dua tahap utama: pra perancangan dan perancangan. Dalam tahap pra perancangan, datasheet digunakan untuk merincikan spesifikasi komponen, sementara pada tahap perancangan, data diperoleh dari jurnal, situs web, pengujian perangkat, diskusi tim, dan konsultasi pembimbing.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Robot Delta

Robot Delta merupakan salah satu jenis robot lengan yang populer di dunia industri. Nama “delta” berasal dari bentuknya yang mirip segitiga yang disusun secara paralel dan memiliki 3 DOF (*Degree Of Freedom*), dari bentuknya tersebut robot ini memiliki kelebihan yaitu pergerakan yang sangat cepat, karena tidak memindahkan beban bersamaan dengan aktuatornya melainkan hanya memindahkan kerangkanya (*frame*) sehingga membuatnya ringan memungkinkan robot delta mencapai kecepatan yang tidak dapat ditandingi oleh jenis robot lain. Dengan kelebihanannya robot delta menjadi kandidat yang sempurna untuk melakukan tugas *pick* dan *place* pada objek yang ringan [1].

Penggunaan *parallelograms* merupakan inti dari pembuatan robot delta. Fungsi dari penggunaan tiga *parallelograms* yang dipasang untuk menahan *end effector* yang disambungkan dengan *spherical joint*, seperti pada [Gambar 1](#) konstruksi dasar robot delta. *Spherical joint* merupakan sebuah joint yang dapat berotasi di segala arah pada tiga sumbu x, y, dan z karena konstruksi bolanya [2].



Gambar 1. Konstruksi dasar robot delta [2].

Susunan setiap lengan robot delta terhubung dengan platform dasarnya (*base*) melalui *revolute joint* yang disusun setiap 120°, sehingga membentuk susunan segitiga sama sisi,

joint ini hanya dapat berputar searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. Posisi *end effector* akan berubah sesuai derajat perputaran pada motor di *platform* dasar yang merupakan *revolute joint* nya [1].

B. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan sirkuit berbasis mikrokontroler Atmega328 yang menggunakan bahasa pemrograman C++. Papan ini memiliki 14 pin *input/output* digital, termasuk 6 pin output PWM, serta 6 *input analog*. Dilengkapi dengan resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, konektor *jack* sumber tegangan, *header ICSP*, dan tombol *reset*. Perangkat ini dapat diaktifkan dengan kabel USB dari komputer atau tegangan dari baterai atau adaptor AC-DC [3].



Gambar 2. Arduino Uno [4].

TABEL 1
SPESIFIKASI ARDUINO UNO [5].

Spesifikasi	Detail
Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan Operasi	5 Volt
Tegangan <i>Input</i> (Rekomendasi)	7-12 Volt
Tegangan <i>input</i> (<i>limit</i>)	6-20 Volt
<i>Pin I/O</i> Digital	14 (6 <i>pin</i> dapat digunakan untuk membangkitkan output sinyal PWM)
<i>Pin Input Analog</i>	6
Arus per <i>pin I/O</i>	40 mA
Arus pada <i>pin 3.3 volt</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB (Atmega328) 0,5 kB digunakan untuk <i>bootloader</i>
SRAM	2kB (Atmega328)
EEPROM	1 kB (Atmega328)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

C. Catu Daya

Catu daya merupakan sumber tegangan DC yang berfungsi untuk menyuplai atau memberikan tegangan dan arus. Dalam penelitian ini, penggunaan konverter AC/DC SMPS dan Buck Converter tipe LM2596 digunakan untuk menyediakan sumber tegangan DC ini.

1) AC/DC Switch Mode Power Supply

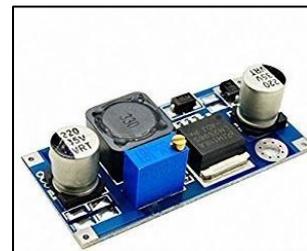
Konverter AC/DC SMPS adalah sebuah sistem catu daya yang menggunakan sakelar elektronik untuk mengatur dayanya. Biasanya sistem ini terdapat pada rangkaian sumber daya atau regulator/power supply pada perangkat elektronik [6]. Alat listrik ini mempunyai beberapa ukuran kekuatan daya, dan salah satunya adalah catu daya 12V yang peneliti gunakan dan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. AC/DC SMPS 12V 10A [7].

2) Buck Converter

Buck Converter merupakan sebuah komponen elektronik yang bertugas untuk mengubah tegangan listrik DC menjadi tegangan DC yang lebih rendah daripada tegangan sumbernya [8]. Salah satu bentuk fisik *buck converter* dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4. Buck converter tipe LM2596 [9].

D. Motor Servo

Motor Servo merupakan suatu jenis aktuator elektromekanis yang tidak berputar secara terus-menerus seperti motor DC atau motor *stepper*. Perangkat motor ini terdiri dari motor DC, serangkaian *gear*, rangkaian kontrol, dan potensiometer [10]. Berdasarkan batas putaran, terdapat dua jenis motor Servo, yaitu:

1) Motor Servo Standar

Motor Servo ini hanya dapat bergerak dalam dua arah, yaitu CW dan CCW, dengan batas sudut masing-masing sebesar 90°. Dengan demikian, total sudut putaran yang dapat dicapai adalah 180° dari posisi tengah ke kanan dan ke kiri [11]. Motor Servo yang digunakan dalam penelitian ini bertipe SG90 dengan spesifikasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 5 menunjukkan bentuk fisik motor Servo SG90.

TABEL 2
SPESIFIKASI MOTOR SERVO SG90 [12].

Spesifikasi	Keterangan
Dimensi (perkiraan)	22.2 × 11.8 × 31 mm
Berat	9 gr
<i>Stall torque</i>	1.8 kgf.cm
Kecepatan Operasi	0.1 s/60 derajat
Tegangan Operasi	4.8V (~5V)
<i>Dead band width</i>	10 μs
Rentang suhu	0°C – 55°C



Gambar 5. Motor Servo SG90 [12].

2) Motor Kontinu

Jenis motor *Servo* yang memiliki kemampuan untuk bergerak ke arah *Clockwise* (CW) dan *Counter Clockwise* (CCW) tanpa batasan sudut putar, sehingga dapat melakukan putaran penuh dengan sudut 360° [11]. Motor *Servo* yang digunakan dalam penelitian ini bertipe DS3225 dengan spesifikasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 6 menunjukkan tampilan fisik motor *Servo* DS3225.

TABEL 3
SPESIFIKASI MOTOR SERVO DS3225 MG

Spesifikasi	Keterangan
Size	40 × 20 × 40.5
Weight	60g
Gear	Metal
Voltage	4.8V – 6.8V
Stall torque (5V)	24.5 kg/cm (291.5oz/in)
Stall torque (6.8V)	28 kg/cm (340.1 oz/in)
Speed (5V)	0.15 sec/60°
Speed (6.8V)	0.13 sec/60°
Running degree	270°

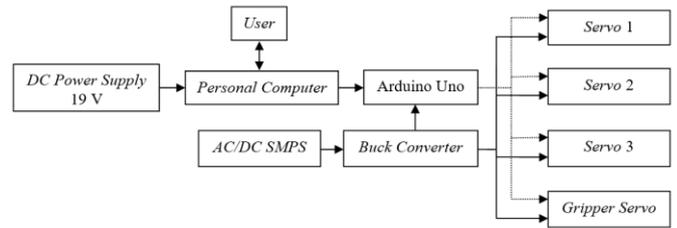


Gambar 6. Motor Servo DS3225 MG [13].

III. PERANCANGAN

A. Gambaran Umum Sistem

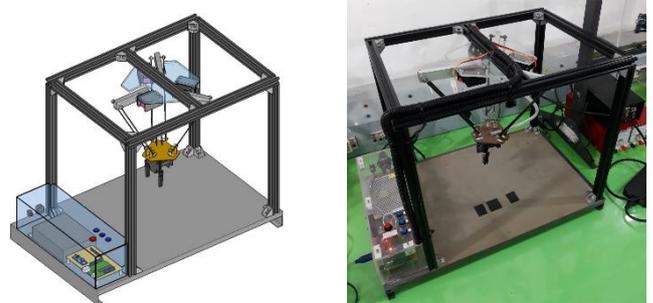
Robot Delta dikendalikan oleh Arduino Uno melalui antarmuka komputer yang dibuat menggunakan aplikasi Arduino IDE. Data pergerakannya dikirim dari komputer ke Arduino Uno melalui koneksi USB, di mana Arduino Uno akan memproses data tersebut. Motor Servo akan diatur oleh Arduino Uno untuk menggerakkan robot delta sesuai dengan slider pengendali pada antarmuka komputer. Diagram blok sistem perancangan Robot Delta berbasis Arduino Uno dijelaskan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Diagram blok sistem

B. Perancangan Mekanik

Pada Gambar 8, dapat dilihat perancangan mekanik robot delta dimulai dengan mendesain mekanikalnya yang sudah terangkai dan tersambung secara keseluruhan. Kerangka robot delta dibagi menjadi empat bagian yaitu body (*base*), lengan bagian atas, lengan bagian bawah (*parallelograms*), *end effector* dan *stand*. Robot dibuat dengan menggunakan bahan akrilik, bahan aluminium 6061, dan papan PCB yang menggunakan bahan berbasis *fiberglass* yang dilapisi dengan lapisan tembaga sebagai bahan dasarnya. Penggunaan akrilik akan digunakan pada *base platform* dan aluminium *square tube* pada lengan bagian atas sedangkan untuk pcb *fiberglass* pada *end effector*. Selain itu bahan dalam pembuatan *stand* menggunakan aluminium *profile* 2020.



Gambar 8. Perancangan mekanik

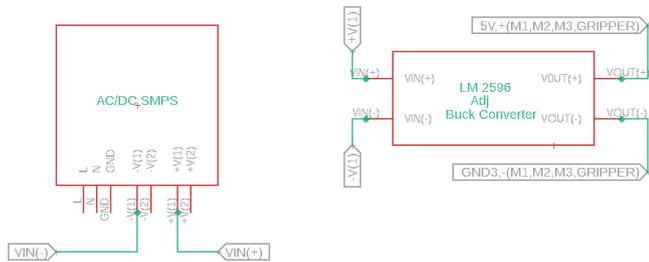
C. Perancangan Rangkaian Elektronik

Pada perancangan umum sistem Robot Delta, terdapat beberapa komponen utama yang digunakan. Komponen tersebut meliputi komputer/laptop, konverter *AC/DC SMPS*, *buck converter*, Arduino Uno R3, dan Motor *Servo*. Dalam rancangan Robot Delta, *AC/DC SMPS* digunakan sebagai sumber tegangan untuk *buck converter* guna memberikan tegangan input yang diperlukan untuk menggerakkan motor *Servo*. Sementara itu, komputer/laptop digunakan sebagai media pemrograman yang akan dikirimkan ke Arduino Uno R3 yang berfungsi sebagai otak dari Robot Delta.

1) AC/DC SMPS

Konverter *AC/DC SMPS* dalam pembuatan alat ini dihubungkan ke *buck converter* untuk menyediakan tegangan *input* yang diperlukan oleh *buck converter* agar dapat mengoperasikan motor *Servo*. Skematik hubungan konverter *AC/DC SMPS* pada *buck converter* ditunjukkan pada Gambar 9. Keluaran DC dari *AC/DC SMPS* dihubungkan pada masukan *buck converter*, sehingga tegangan *output* SMPS yang sebesar

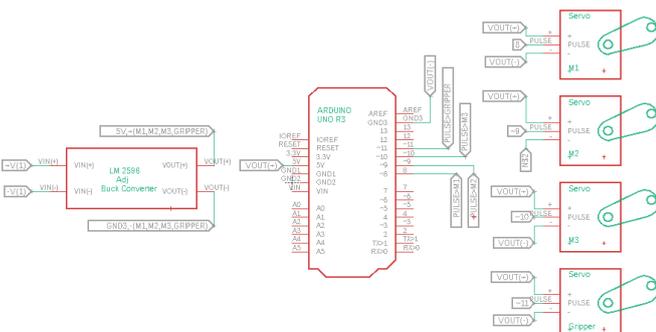
12 V dapat diturunkan menjadi 5 V, sehingga sesuai dengan tegangan yang diperlukan oleh *board* Arduino dan motor servo 5 V. Penggunaan dua tahap sumber tegangan ini adalah untuk mengakomodasi asesories robot yang tetap memerlukan tegangan 12 V, seperti pompa vakum.



Gambar 9. Skematik hubungan AC/DC SMPS pada buck converter.

2) Buck Converter

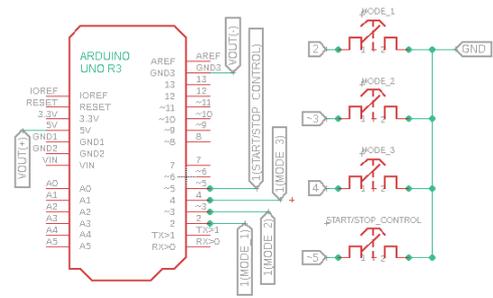
Buck Converter digunakan dalam pembuatan alat ini dengan tujuan untuk menyediakan tegangan yang diperlukan pada motor Servo. Adapun skematiknya ditunjukkan pada Gambar 10. Sesuai gambar, terminal + dan - untuk tegangan sumber *board* Arduino dan seluruh motor servo dihubungkan pada keluaran *buck converter*. Kemudian, untuk menggerakkan tiap motor servo, pulsa yang dihasilkan oleh Arduino Uno pada pin 8, 9, 10, dan 11, berturut-turut dihubungkan dengan pin pulse/kontrol pada motor servo M1, M2, M3, dan gripper.



Gambar 10. Skematik hubungan buck converter pada Arduino Uno dan Motor Servo

3) Push Button

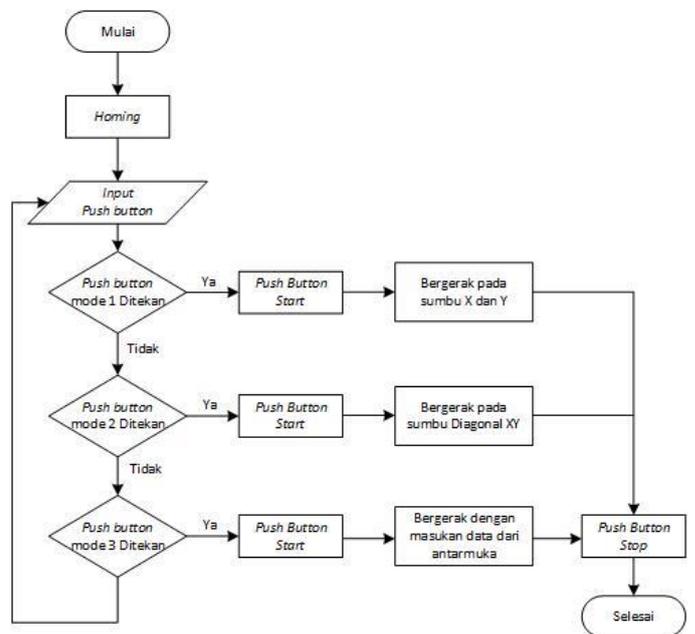
Dalam perancangan ini, terdapat empat *push button* yang digunakan untuk *start/stop* robot Delta dan mengubah mode kerja robot. Adapun skematiknya ditunjukkan pada Gambar 11. Berdasar gambar, empat buah *push button* dihubungkan masing-masing pada pin 2, 3, 4, dan 5 sebagai masukan untuk Arduino. Berturut-turut, *push button* yang terhubung pada pin 2, 3, 4, dan 5 digunakan untuk mengaktifkan mode 1, mode 2, mode 3, dan start/stop. Ketika *push button* diaktifkan, pin Arduino akan mendapatkan tegangan 0 V (aktif LOW).



Gambar 11. Skematik hubungan push button pada Arduino Uno.

D. Perancangan Program

Perancangan program adalah suatu rancangan yang dibuat menggunakan komputer tentang bagaimana program akan bekerja, termasuk bagaimana data akan disimpan, dan bagaimana tugas-tugas akan dijalankan. Berikut ini adalah diagram alir program pengendali robot delta yang dapat dilihat pada Gambar 12.



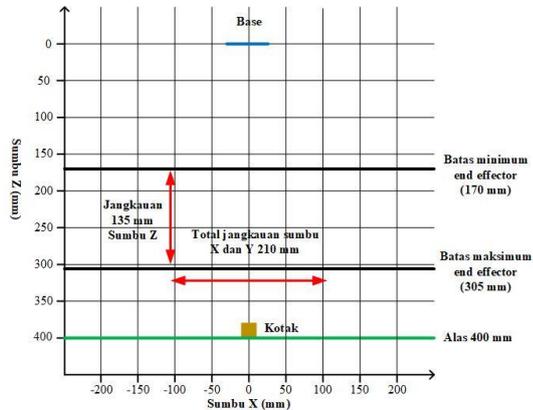
Gambar 12. Diagram alir program.

Penjelasan untuk Gambar 12, Ketika diaktifkan pertama kali, robot akan melakukan homing, di mana motor servo M1, M2, dan M3 akan mengatur lengan agar ujung gripper berada pada posisi awal. Selanjutnya, program menunggu adanya penekanan salah satu *push button*. Ketika *push button* mode 1 ditekan, maka robot melakukan gerakan pada sumbu X dan Y. Jika *push button* mode 2 ditekan, maka robot bergerak pada sumbu diagonal X dan Y. Selanjutnya, jika dipilih mode 3, maka robot akan menunggu daftar gerakan yang dikirim oleh komputer/laptop melalui kabel USB. Ketiga jenis mode ini dapat dimatikan atau diaktifkan kembali oleh tombol START/STOP.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Ketinggian End Effector Pada Sumbu Z

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui batas ketinggian minimum dan maksimum pada *end effector*. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur ketinggian sumbu Z dan sudut ketiga *Servo* setiap interval 15 mm dari minimum hingga maksimum. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 13 dan hasil data pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 13. Area kerja pada sumbu Z setelah pengujian.

TABEL 4

HASIL PENGUJIAN SUMBU Z DAN SUDUT MOTOR SERVO

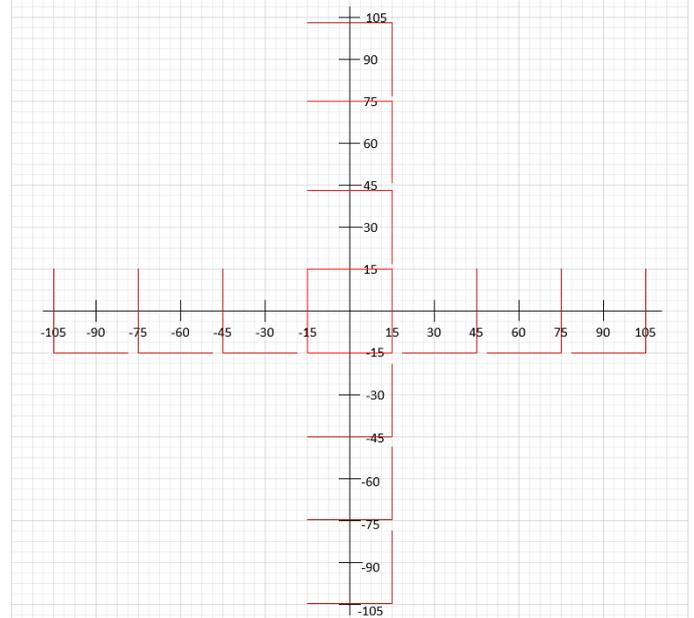
Percobaan	Pengukuran			
	Sumbu Z (mm)	Sudut Servo 1 (°)	Sudut Servo 2 (°)	Sudut Servo 3 (°)
1	170	150	150	150
2	185	125	125	125
3	200	110	110	110
4	215	95	95	95
5	230	85	85	85
6	245	75	75	75
7	260	65	65	65
8	275	55	55	55
9	290	45	45	45
10	305	37	37	37

Hasil pengujian ketinggian sumbu Z yang ditunjukkan pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa robot memiliki rentang jangkauan dari 170 mm hingga 305 mm, karena jika diberi ketinggian melebihi batas maksimum maka dapat merusak *gripper* karena menyentuh alas aluminium sementara pada Tabel 4 tampak perubahan sudut *Servo* saat nilai sumbu Z meningkat. Jika nilai sumbu Z meningkat, maka nilai sudut *Servo* cenderung berkurang dan nilai sudut *Servo* relatif sama dalam setiap percobaan terhadap perubahan nilai sumbu Z.

B. Pengujian Akurasi Pick & Place Serta Area Kerja Pada Sumbu XY

Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan kertas milimeterblok di atas alas aluminium sebagai tempat untuk menandai posisi objek yang akan diletakkan. Dalam percobaan ini, dilakukan penandaan posisi objek dan pengukuran jarak perpindahannya. Objek yang digunakan adalah sebuah kotak berukuran 30 mm x 30 mm lalu data diambil dengan mengatur posisi objek setiap 30 mm pada sumbu X, sumbu Y, dan secara diagonal sumbu XY. Gambar 14 dan Gambar 15 menunjukkan

hasil pengujian perpindahan yang ditandai dalam satuan milimeter.



Gambar 14. Hasil pengujian perpindahan yang ditandai di milimeterblok pada sumbu X dan Y.

Pengujian pada Gambar 14 menunjukkan bahwa perpindahan objek pada sumbu X relatif mendekati titik yang diharapkan, tetapi objek mengalami perputaran. Perpindahan sumbu X negatif menghasilkan putaran berlawanan arah jarum jam, sementara perpindahan sumbu X positif menghasilkan putaran searah jarum jam. Pergeseran sumbu Y positif dan negatif mengakibatkan pergeseran pusat ke arah sumbu X positif.

TABEL 5

HASIL DATA PENGUKURAN SUDUT SERVO DAN PENGUKURAN PERPINDAHAN SETIAP POSISI PADA SUMBU X.

Uji	Penentuan Sumbu (mm)		Pengukuran Sumbu (mm)		Kuadrat Rata-rata (mm)		Error Rata-rata (%)
	X	Y	X	Y	Penentuan	Pengukuran	
1	105	-15	104,5	-11	106,06	105,07	0,93
2	75	-15	76	-17	76,48	77,87	1,82
3	45	-15	44	-15	47,34	46,48	1,99
4	-45	-13	-46,5	-13	47,43	48,28	1,78
5	-75	-15	-76	-11	76,48	76,79	0,40
6	-105	-15	-105	-14	106,06	105,92	0,12
Rata-rata Total					76,66	76,74	1,17

TABEL 6
HASIL DATA PENGUKURAN SUDUT SERVO DAN PENGUKURAN PERPINDAHAN SETIAP POSISI PADA SUMBU Y.

Uji	Penentuan Sumbu (mm)		Pengukuran Sumbu (mm)		Kuadrat Rata-rata (mm)		Error Rata-rata (%)
	X	Y	X	Y	Penentuan	Pengukuran	
1	15	105	15	100	106,06	101,11	4,66
2	15	75	16	77	76,48	78,64	2,82
3	15	45	17,5	42	47,34	45,5	4,07
4	15	-45	16	-44	47,43	46,81	1,29
5	15	-75	16	-74	76,48	75,70	1,01
6	15	-105	17,5	-102	106,06	103,49	2,42
Rata-rata Total					76,66	75,21	2,71

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan pada [Tabel 5](#) diperoleh bahwa penyimpangan letak titik tengah objek hasil pengukuran dibanding hasil penentuan untuk pengujian *pick and place* pada sumbu X memberikan *error* rata-rata sebesar 1,17% dengan *error* minimum sebesar 0,12% dan *error* maksimum 1,99%. Hal ini menggambarkan bahwa peletakan objek pada sumbu X telah mencapai tingkat akurasi yang sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan. Selanjutnya, sesuai hasil pengukuran dan perhitungan pada [Tabel 6](#) dimana penyimpangan letak titik tengah objek hasil pengukuran dibanding hasil penentuan untuk pengujian *pick and place* pada sumbu Y memberikan *error* rata-rata sebesar 2,71% dengan *error* minimum sebesar 1,01% dan *error* maksimum sebesar 4,66%, juga dapat disimpulkan bahwa peletakan objek pada sumbu Y dinilai mencapai tingkat akurasi yang sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan, walaupun nilainya lebih besar dibanding pada peletakan di sumbu X. Selain pengujian *pick and place* sepanjang sumbu X dan Y, juga dilakukan pengujian *pick and place* pada arah diagonal yang hasilnya ditunjukkan pada [Tabel 7](#) dan [Tabel 8](#).

TABEL 7
HASIL DATA PENGUKURAN SUDUT SERVO DAN PENGUKURAN PERPINDAHAN SETIAP POSISI PADA SUMBU +X+Y DAN -X-Y.

Uji	Penentuan Sumbu (mm)		Pengukuran Sumbu (mm)		Kuadrat Rata-rata (mm)		Error Rata-rata (%)
	X	Y	X	Y	Penentuan	Pengukuran	
1	65	85	65	87	107	108,60	1,49
2	40	50	39	50	64,03	63,41	0,96
3	-40	-50	-38	-51	64,03	63,60	0,67
4	-65	-85	-64	-86	107	107,20	0,18
Rata-rata Total					85,51	85,70	0,82

Dari data hasil pengukuran dan perhitungan pada [Tabel 7](#), ditemukan bahwa penyimpangan letak titik tengah objek dari hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil penentuan pada pengujian *pick and place* pada sumbu +X+Y -X-Y menghasilkan rata-rata *error* sebesar 0,82%, dengan *error*

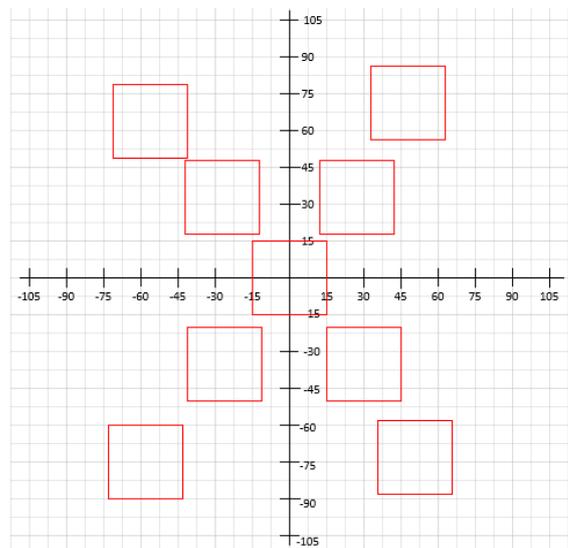
minimum 0,18% dan *error* maksimum 1,49%. Hal ini menggambarkan bahwa peletakan objek pada sumbu +X+Y -X-Y telah mencapai tingkat akurasi yang sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan.

TABEL 8
HASIL DATA PENGUKURAN SUDUT SERVO DAN PENGUKURAN PERPINDAHAN SETIAP POSISI PADA SUMBU -X+Y DAN +X-Y.

Uji	Penentuan Sumbu (mm)		Pengukuran Sumbu (mm)		Kuadrat Rata-rata (mm)		Error Rata-rata (%)
	X	Y	X	Y	Penentuan	Pengukuran	
1	-65	85	-61	81	107	101,40	5,23
2	-40	50	-41	51,5	64,03	65,82	2,80
3	40	-50	44	-51	64,03	67,35	5,19
4	65	-85	67	-86	107	109,01	1,88
Rata-rata Total					85,51	85,90	3,77

Selanjutnya, hasil pengukuran dan perhitungan pada [Tabel 8](#) menunjukkan bahwa penyimpangan letak titik tengah objek dari hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil penentuan pada pengujian *pick and place* pada sumbu -X+Y +X-Y menghasilkan rata-rata *error* sebesar 3,77%, dengan *error* minimum 1,88% dan *error* maksimum 5,23%. juga dapat disimpulkan bahwa peletakan objek pada sumbu -X+Y +X-Y dinilai mencapai tingkat akurasi yang sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan, walaupun nilainya lebih besar dibanding pada peletakan di sumbu +X+Y -X-Y.

Error yang terjadi pada pengujian ini disebabkan oleh dua faktor mekanikal yang menyebabkan masalah saat melakukan *pick and place*, yaitu ketidakkokohan pada lengan bagian atas yang terhubung ke *shaft* motor *Servo* dan juga ketidakkokohan pada bagian *end effector*, yang berdampak pada kurangnya akurasi dalam pengujian tersebut.



Gambar 15. Hasil pengujian perpindahan secara diagonal yang ditandai di milimeterblok pada sumbu X dan sumbu Y.

[Gambar 15](#) menunjukkan hasil pengujian perpindahan objek pada sumbu +X+Y -X-Y yang mendekati posisi yang

diharapkan. Namun, terdapat perbedaan antara pengukuran dan posisi yang ditentukan, dengan pergeseran sekitar 1 mm hingga 2 mm pada sumbu +X+Y dan -X-Y. Pada perpindahan objek sumbu -X+Y +X-Y, pergeseran lebih besar, yaitu sekitar 1 mm hingga 4 mm, artinya pergeseran ini lebih besar dibandingkan dengan pengujian perpindahan pada sumbu +X+Y -X-Y.

C. Pengujian Akurasi Saat Balik Posisi Awal Pada Sumbu XY

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah setelah objek benda diletakkan pada posisi yang ditentukan, objek dapat kembali ke posisi awal (15, 15) mm pada sumbu XY. Proses pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali diatas kertas milimeterblok untuk setiap posisi, dengan tujuan menguji tingkat pengulangannya (*repeatability*). Objek diletakkan pada posisi sumbu X, sumbu Y, dan secara diagonal dengan kombinasi sumbu XY pada posisi maksimum yang dapat dicapai, yaitu (15, -105) mm, (65, -85) mm, (105, 15) mm, (65, 85) mm, (15, 105) mm, (-65, 85) mm dan (-65, -85) mm. Dapat dilihat pada Tabel 9 merupakan hasil data pengukuran pada pengujian saat benda kembali ke posisi awal.

TABEL 9
PENGUJIAN PENGUKURAN SAAT BALIK KE POSISI AWAL

Uji	Posisi peletakan benda (mm)	Pengukuran saat balik ke posisi awal (mm)		Error Perpindahan saat balik ke posisi awal (mm)		Error Rata-rata (mm)
		X	Y	X-15	Y-15	
1	(105, -15)	14	14	1	1	1,41
2	(65, -85)	15	16	0	1	1
3	(15, -105)	13	15	2	0	2
4	(-65, -85)	17	16	2	1	2,23
5	(-105, -15)	14	15	1	0	1
6	(-65, 85)	13	13	2	2	1,82
7	(15, 105)	12	18	3	3	4,24
8	(65, 85)	13	17	2	2	2,82
Rata-rata				1.62	1.25	2.19

Nilai *error* rata-rata pengujian adalah 2,19 mm, dengan satu kasus paling tinggi mencapai 4,24 mm ketika objek ditempatkan pada (15,105) mm. Hal ini menunjukkan ketidakpresisian dalam pengembalian objek ke posisi awal, disebabkan oleh pengambilan objek *gripper* yang hanya mengangkat setengah bagian objek. Pada pengembalian, objek bergeser dan berbenturan dengan alas aluminium, mengakibatkan perpindahan posisi objek.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan penelitian rancang bangun robot delta berbasis Arduino Uno, dapat disimpulkan bahwa lebar maksimum yang dapat ditangkap oleh *gripper* adalah 4 cm. Selanjutnya juga diperoleh bahwa robot delta memiliki jangkauan 135 mm pada ketinggian sumbu Z dari minimum 170 mm hingga maksimum 305 mm, karena jika diberi ketinggian melebihi batas maksimum maka dapat merusak *gripper* karena menyentuh alas aluminium.

Tingkat keberhasilan rata-rata pada setiap perpindahan posisi yang dilakukan robot delta adalah 97,87%, untuk

keberhasilan sumbu X = 98,82%, sumbu Y = 97,28%, sumbu +X+Y -X-Y = 99,17%, dan sumbu -X+Y +X-Y = 96,22%. Sementara, *error* akurasi rata-rata robot delta adalah sebesar 2,19 mm, dengan *error* akurasi paling besar mencapai 4,24 mm ketika kembali ke posisi awal dari posisi penempatannya yaitu (15,105) mm.

B. Saran

Penelitian rancang bangun robot delta berbasis Arduino Uno ini tidak lepas dari berbagai kekurangan dan kelemahan. Berikut adalah beberapa saran untuk pengembangan penelitian ini. Saran pertama adalah perlunya perhitungan kinematika dalam pembuatan robot agar dapat menentukan hubungan antara derajat kebebasan, posisi dan orientasi dari *end effector* pada lengan robot. Kemudian, proses pembuatan mekanik robot dapat ditingkatkan dengan menggunakan material yang memiliki kekuatan dan ketebalan yang lebih tepat, dan juga tetap ringan agar meningkatkan kokohnya robot sehingga dapat bergerak dengan lebih leluasa. Selanjutnya, untuk meningkatkan tingkat kepresisian robot dapat dilakukan dengan menggunakan aktuator yang presisi dan pergerakan yang lebih halus, seperti motor *stepper* atau dengan mengatur nilai PWM pada program arduino pada motor *Servo*. Juga, penambahan sensor pada robot agar dapat dioperasikan dengan mode otomatis.

REFERENSI

[1] E. Deo dan M. Martanto, "Robot paralel konfigurasi delta dengan penggerak motor servo," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro 2021 (SENTER 2021)*, Bandung, Nov 18, 2021.

[2] R. T. Arrazate, "Development of a URDF file for simulation and programming of a delta robot using ROS," Master thesis, CIDESI. Mexico, 2017.

[3] M. D. Tobi, "Rancang bangun robot beroda pemadam api menggunakan Arduino Uno rev.1.3," *Electro Luceat*, vol. 1, no. 1, pp. 52-61, 2015, doi: 10.32531/jelekn.v1i1.16.

[4] D.M Sobirin dan J. Utama, "Perancangan sistem multi Computer Numerical Control (CNC) untuk plotter dan laser engraving," *Komputika*, vol. 9, no. 1, pp. 7-25, 2019, doi: https://doi.org/10.34010/komputika.v9i1.2652.

[5] R. T. Putra, "Penginderaan jarak jauh (citra lokasi & kualitas udara)," Undergrad. thesis, Univ. 17 agustus 945, Surabaya, 2018.

[6] N. E. Wijanarko, S. Pradana, dan E. Yadie, "Rancang bangun sistem alat praktikum TRIAC di laboratorium elektronika daya dengan pengendali Arduino Uno," *PoliGrid*, vol. 2, no. 2, p. 62, 2021, doi: 10.46964/poligrid.v2i2.711.

[7] "Jual adaptor power supply switching 12v 10a 120w." https://rosykomputer.com/adaptor-power-supply-switching-12v-10a-120w/ (accessed Dec. 15, 2022).

[8] M. Ali, *Aplikasi Elektronika Daya Pada Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: UNY Press, 2018.

[9] R. Hariansyah dan A. L. Satriawan, "Telemeteri level untuk tangki penampungan pada proses penjernihan air sungai berbasis iot menggunakan arduino," Tugas Akhir, Dep. Tek. Elektro otomasi, Inst. Teknol. Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.

[10] U. Latifa dan J. Slamet Saputro, "Perancangan robot arm gripper berbasis Arduino Uno menggunakan antarmuka Labview,"

Barometer, vol. 3, no. 2, pp. 138–141, 2018, doi:
10.35261/barometer.v3i2.1395.

- [11] S. Muslimin, “Analisis pulse motor servo sebagai penggerak utama Lengan robot berjari berbasis Mikrokontroler,” *Proton*, vol. 10, no. 1, pp. 1–5, 2018, doi: 10.31328/jp.v10i1.800.
- [12] R. Ramdan, L. Lasmadi, dan P. Setiawan, “Sistem pengendali On-Off lampu dan motor servo sebagai penggerak gerendel pintu berbasis Internet of Things (IoT),” *Avitec*, vol. 4, no. 2, p. 211, 2022, doi: 10.28989/avitec.v4i2.1317.
- [13] M. A. Elmehri, “Design of a control system for an indirect solar dryer,” Master’s Degree, Inst. Politec. Braganca, Port., 2019.