

Sinkronisasi Motor 2 Axis untuk *Automated Storage Retrieval System* Menggunakan Web

Ahda Sabila Rahmawan, Joko Priambodo, dan Berlian Al Kindhi

Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: joko.priambodo@its.ac.id

Abstrak—Penempatan dan pengambilan wadah *sparepart* pada rak susun yang masih dilakukan secara manual, berakibat pada peletakan *sparepart* yang tidak teratur. Sehingga ketika akan diambil, teknisi merasa kesulitan dalam mencarinya. Pencarian yang sulit ini disebabkan oleh penempatan, pengambilan dan pendataan yang kurang diperhatikan. Terdapat usulan untuk membuat sistem pencarian *sparepart* dengan *Automated Storage Retrieval System* (ASRS) yang dioperasikan *by-click* melalui web, agar sistem dapat digunakan untuk melakukan pencarian serta inventarisasi data. Berdasarkan perancangan tersebut, pengontrol yang digunakan yaitu mikrokontroler Arduino sebagai pengendali utama. Lalu terdapat bahasa pemrograman Javascript sebagai penerjemah perintah dari antarmuka. Sebagai upaya optimasi diterapkan metode regresi linier dalam proses mengendalikan pergerakan kedua buah motor *stepper* dua axis (X dan Y). Pengujian yang dilakukan terhadap performa web memiliki respon waktu selama 02,64 detik. Sedangkan, untuk tingkat akurasi dan presisi pengendalian sinkronisasi XY memiliki nilai RMSE sebesar 0,52 mm dan nilai standar deviasi sebesar 0,48 mm. Terdapat selisih waktu tempuh ketika pengendalian sinkronisasi XY berkisar 03,12 detik – 08,03 detik lebih efisien.

Kata Kunci—ASRS, Regresi Linier, Sinkronisasi XY, Web.

I. PENDAHULUAN

TERDAPAT ruangan yang berguna untuk menyimpan stok suku cadang (*sparepart*) guna keperluan perbaikan dan perawatan. Stok *sparepart* dibutuhkan teknisi dalam melakukan *maintenance* baik ketika proses produksi sedang beroperasi maupun saat proses produksi tidak beroperasi. *Sparepart* diletakkan pada wadah, kemudian secara manual disimpan pada rak susun yang telah disediakan. Terdapat susunan rak di ruang *sparepart* yang berjumlah 1932 peletakan, dimana setiap sub rak-nya terdiri dari 100 sub-sub rak. Dari sekian banyak rak beserta barang – barang *sparepart* menimbulkan kesalahan lokasi penempatan *sparepart* yang tidak sesuai setelah diambil. Pengelolaan *sparepart* yang tidak teratur, menimbulkan masalah bagi teknisi saat mencari *sparepart* yang diperlukan. Lamanya pencarian dalam menemukan *sparepart* memunculkan anggapan bahwa, persediaan *sparepart* telah habis atau hilang. Karena ketika sampai dilakukan pendataan ulang dan *sparepart* tetap tidak dapat ditemukan, maka *sparepart* dianggap habis dan akan membuat kerugian bagi perusahaan.

Dari permasalahan teknisi yang kesulitan mencari *sparepart* ini, diusulkan model sistem otomasi pencarian berupa *Automated Storage and Retrieval System* (ASRS). ASRS merupakan sistem otomasi yang dapat meminimalisir masalah di lokasi penyimpanan. Pada penelitiannya, Parob menjelaskan skenario perancangan dan implementasi ASRS di lingkungan perpustakaan. Ia berpendapat bahwa ASRS cocok dan masih perlu dikembangkan di area lain. Maka dari itu, dirancangnya *prototype* ASRS di ruang penyimpanan

sparepart. Hasil dari penelitian yang diperoleh dengan mengevaluasi kinerja waktu perjalanan untuk sistem ASRS menunjukkan penghematan biaya dibandingkan sistem racking lainnya [1].

Untuk memudahkan akses bagi yang mengoperasikannya, perlu adanya antarmuka yang menghubungkan antara sistem plant ASRS dan pengguna. Terdapat perangkat lunak antarmuka berupa tampilan web, yang lebih mudah untuk mendistribusikan informasi kedalam bentuk digital dan dapat dikembangkan serta disesuaikan dengan kebutuhan. Menurut Hanani, meski pemilihan sistem dan konfigurasi sistem sudah dapat dioperasikan. Tetapi perlu adanya sistem manajemen inventarisasi data untuk meningkatkan efisiensi aktivitas pergudangan. Maka, dirancangnya sebuah tampilan antar muka menggunakan web yang dapat melakukan akses plant ASRS dengan perintah *by-click* dan inventarisasi data. Hal ini sangat penting dalam industri manufaktur dan untuk menghindari kesalahan dan keterlambatan dalam produksi [2].

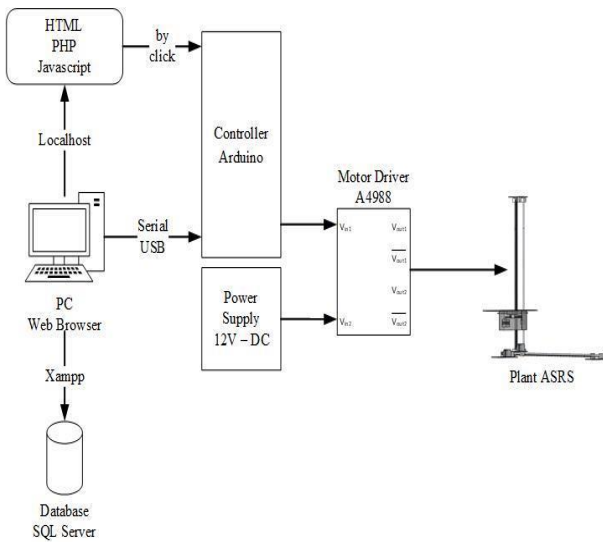
Selain itu, sebagai upaya optimasi sistem plant ASRS, dirancang model pengendalian sinkronisasi dua buah motor *stepper*. Pergerakan yang dilakukan dinamakan dengan mode *Single Command Cycle* (SC). Bargiotas melakukan perbandingan terhadap dua mode operasi, yaitu *Single Command Cycle* (mode SC) dan *Double Command Cycle* (mode DC). Walaupun *Double Command Cycle* dapat melakukan pengambilan dan peletakan dalam satu waktu, namun kompleksitas pencarian dan kemungkinan kesalahan lebih meningkat. Maka dari itu, dirancangnya strategi mode operasi *Single Command Cycle* untuk mengendalikan dua buah motor *stepper* di kedua axis (X dan Y). Pengujian yang Bargiotas dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja sistem yang baru [3].

Pengendalian sinkron ini, bertujuan agar dua axis platform X dan platform Y dapat bergerak bersama. Pengontrolan ini menerapkan metode regresi linier dalam proses mengendalikan pergerakan kedua buah motor dua axis platform XY secara sinkron. Rancangan regresi linier yang digunakan Cheng dalam mengkoordinasikan sumbu (Y, Z) untuk robot kateter meningkat 88% pada sumbu Z dan meningkat 31% pada sumbu Y, untuk setiap akurasinya. Perancangan regresi pada penelitian ini diterapkan untuk motor *stepper*. Maka dari itu, dirancangnya pengendalian sinkronisasi untuk dua buah motor *stepper* di kedua axis (X dan Y) plant ASRS dengan metode regresi linier untuk mendapatkan nilai akurasi, nilai presisi dan nilai efisiensi yang lebih meningkat [4].

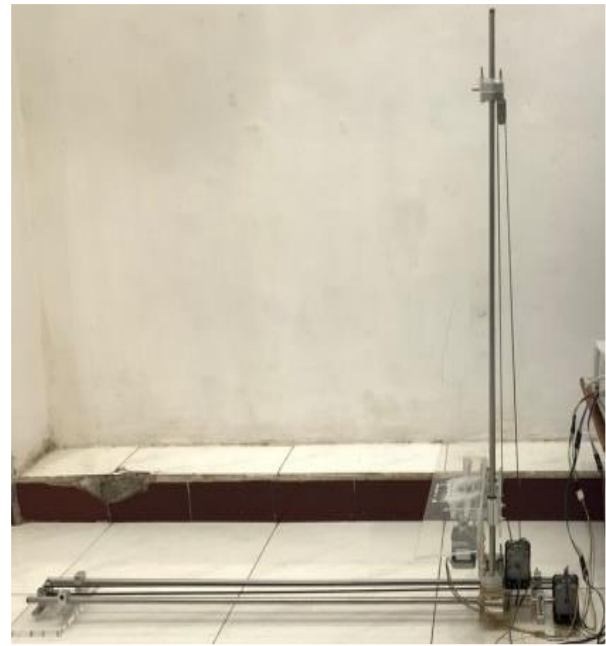
II. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

A. Gambaran Umum Sistem

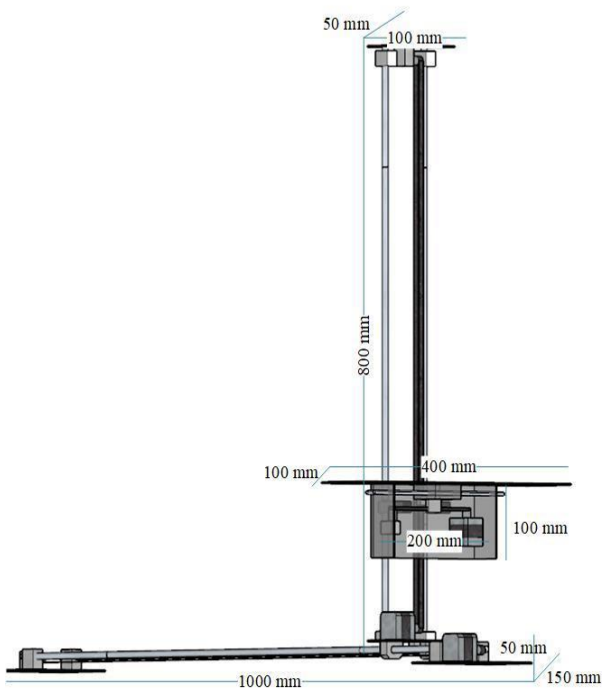
Pada Gambar 1 arsitektur sistem diatas merupakan



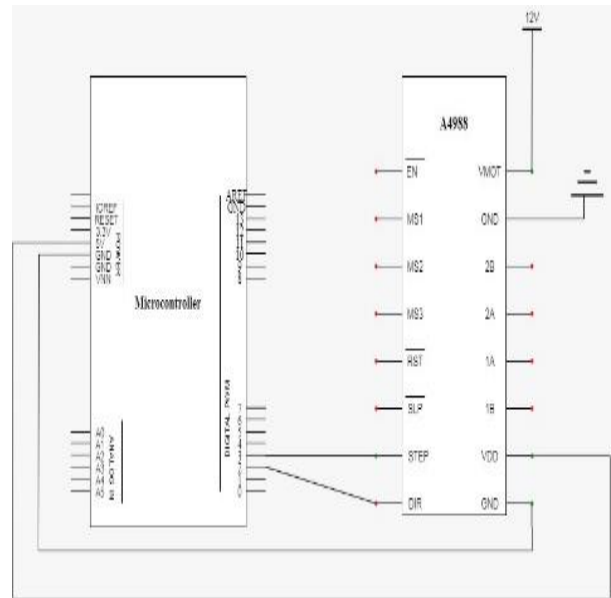
Gambar 1. Arsitektur sistem.



Gambar 3. Implementasi mekanik.



Gambar 2. Desain mekanik ASRS.



Gambar 4. Desain elektrik arduino – driver A4988.

perancangan dari sistem secara keseluruhan menggunakan PC Web Browser berupa Google Chrome untuk mengakses plant ASRS dan melakukan inventarisasi data. PC yang terhubung dengan Arduino melalui perantara serial USB akan mendeteksi port COM yang tersedia. Tampilan web yang dibangun dengan HTML, PHP dan Javascript melalui server localhost. Dalam memerintah mikrokontroler yang terhubung ke motor Driver dan plant ASRS, cukup melakukan click saja. Sedangkan untuk melakukan inventarisasi data yang tersimpan ke database SQL Server, dapat dilakukan pengisian pada halaman penyimpanan atau pengambilan.

B. Mekanik

Pada Gambar 2 merupakan desain mekanik dengan dimensinya. Masing-masing platform terdiri atas komponen dengan rincian dan ukuran yang telah ditentukan. Terdapat spesifikasi platform X, spesifikasi platform Y dan spesifikasi pengangkat Z yang terdapat pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 spesifikasi mekanik diatas terdiri dari platform X sebagai pergerakan maju – mundur, platform Y sebagai pergerakan naik – turun, dan pengangkat Z yang bergerak ke kanan dan ke kiri. Hasil dokumentasi dari implementasi mekanik dapat dilihat pada Gambar 3.

C. Elektrik

Pada Gambar 4 desain elektrik Arduino – Driver A4988 terdapat rangkaian yang terhubung antara pin input dengan pin output. Terdapat juga susunan rangkaian ini merupakan konfigurasi pin Arduino dan Driver A4988 pada Tabel 2.

Gambar 5 merupakan rangkaian yang menghubungkan Motor Driver dengan Motor Stepper. Pin Driver yang terhubung ke motor stepper meliputi pin 2B, 2A, 1A, 1B. Gambar desain elektrik driver A4988 – motor stepper dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6 adalah hasil elektrik dari implementasi plant ASRS yang terdiri dari power supply 12 volt DC, Driver

Tabel 1.
Spesifikasi mekanik

Komponen	Ukuran
Fondasi Platform X (Depan dan belakang)	Panjang 15 cm, lebar 10 cm dan tebal 1 cm
Batang Stainless Platform X (2 buah)	Panjang 100 cm dan diameter 10 mm
Slider Horizontal Platform X (Pergerakan maju – mundur serta penopang platform Y)	Panjang 15 cm, lebar 10 cm dan tebal 4 cm
Timing belt Platform X (160 cm sebagai penghubung antar pulley)	Lebar 6 mm dan belt pitch 2 mm
Fondasi Platform Y (Atas dan bawah)	Panjang 10 cm, lebar 5 cm, dan tebal 5cm
Batang Stainless Platform Y (2 buah)	Panjang 80 cm dan diameter 10 mm
Slider Vertikal Platform Y (Pergerakan atas – bawah serta penopang pengangkat Z)	Panjang 20 cm, lebar 10 cm, dan tebal 10 cm
Fondasi Pengangkat Z (Kanan dan kiri)	Panjang 10 cm, lebar 5 cm, dan tebal 5 mm
Batang Stainless Pengangkat Z (2 buah)	Panjang 25 cm dan diameter 5 mm
Slider Pengangkat Z (Pergerakan kanan – kiri)	Panjang 5 cm, lebar 5 cm, dan tebal 2,5 cm
Pulley Platform X, Platform Y dan Pengangkat X (6 buah untuk fondasi depan, belakang, atas, bawah, kanan dan kanan)	Lebar 6 mm dan 20 gigi
Timing belt Platform Y dan Pengangkat Z (120 cm sebagai penghubung antar 2 pulley sebanyak dua buah)	Lebar 6 mm dan belt pitch 2 mm

Tabel 2.
Konfigurasi pin arduino dan driver A4988

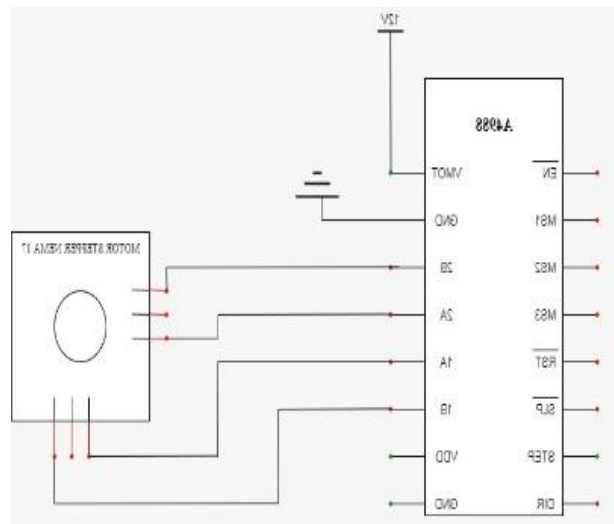
Arduino	Driver A4988
5V	VDD
GND	GND
D2	DIRECTION MOTOR Z
D3	STEP MOTOR Z
D4	DIRECTION MOTOR Y
D5	STEP MOTOR Y
D6	DIRECTION MOTOR X
D7	STEP MOTOR X

motor A4988 dan mikrokontroler Arduino Uno yang dapat dilihat pada Gambar 6.

D. Web

Berdasarkan flowchart komunikasi serial yang tertera pada Gambar 7 flowchart komunikasi serial merupakan alur proses komunikasi dua arah antara browser web dengan Arduino; (1) Memberikan nilai serial port “COM 5” dengan cara menghubungkan kabel konektor tipe A ke tipe B. Proses membuka komunikasi dua arah melalui serial port “COM 5”. (2) Melakukan pengecekan terhadap “COM 5” melalui tindakan “Connect”. Jika perintah “connect” dilakukan, maka komunikasi dua arah antara browser web dengan Arduino telah terkoneksi. Namun jika perintah “Connect” tidak dilakukan, maka komunikasi dua arah dari browser ke Arduino tidak terkoneksi.

Gambar 8 hingga Gambar 11 adalah hasil tampilan web dari implementasi command center web yang terdiri dari halaman akses plant ASRS (Gambar 8), halaman komunikasi



Gambar 5. Desain elektrik driver A4988 – motor stepper.



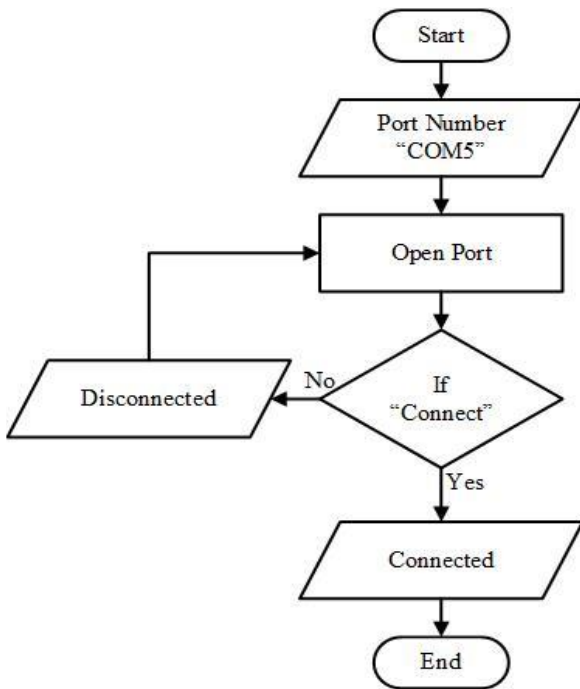
Gambar 6. Implementasi elektrik.

serial (Gambar 9), halaman penyimpanan (Gambar 10) dan halaman pengambilan (Gambar 11).

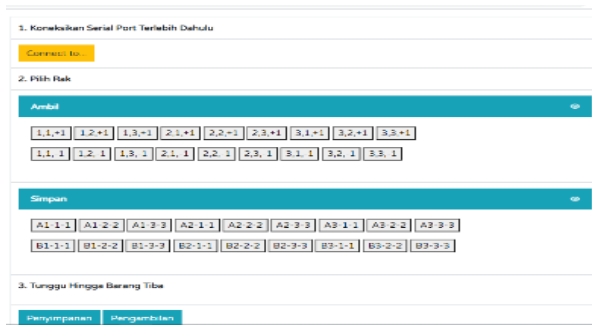
E. Pengendalian Sinkronisasi XY

Terdapat metrik rak untuk memperoleh jarak yang ditempuh untuk menuju lokasi rak yang tepat. Pada Gambar 12 metrik rak diatas diatas memiliki total panjang sebesar 600 mm dan tinggi sebesar 600 mm. Berikut juga terdapat hasil dokumentasi model rak yang dapat dilihat pada Gambar 13.

Terdapat jenis strategi *Single Command Cycle* yang memberikan perintah terhadap slider XY menuju target posisi dan kembail ke posisi awal yaitu station. Strategi pengendalian yang dapat dilihat pada Gambar 14. Perintah pengendalian dirancang untuk melakukan pergerakan diagonal, dengan platform X dan platform Y yang bergerak sinkron. Dalam hal ini terlihat pergerakan linier yang dapat menghasilkan nilai slope atau gradien dari sumbu x dan y pada Gambar 15.



Gambar 7. Flowchart komunikasi serial.



Gambar 8. Halaman akses plant ASRS.



Gambar 9. Halaman komunikasi visual.

Sedangkan dari Gambar 15 gradien XY dapat terlihat beberapa variabel penting yang akan digunakan dalam proses kalkulasi. Semua gerakan dihitung dari posisi titik origin benda (nol benda) sebagai titik acuannya. Pergerakan yang dilakukan pada bidang kerja sumbu X dan Y mendapatkan nilai gradien (m) dari perbandingan dy/dx . Dimana komponen nilai dx dan dy didapat dari persamaan.

$$dx = target X - Px \tag{1}$$

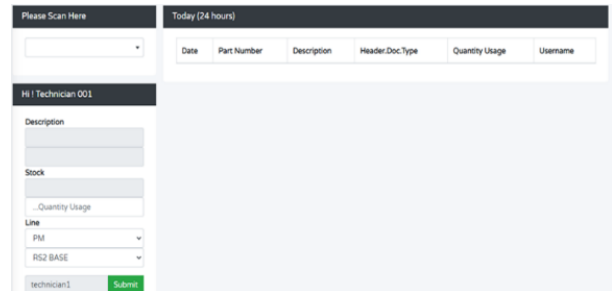
$$dy = target Y - Py \tag{2}$$

$$m = \frac{dy}{dx} \tag{3}$$

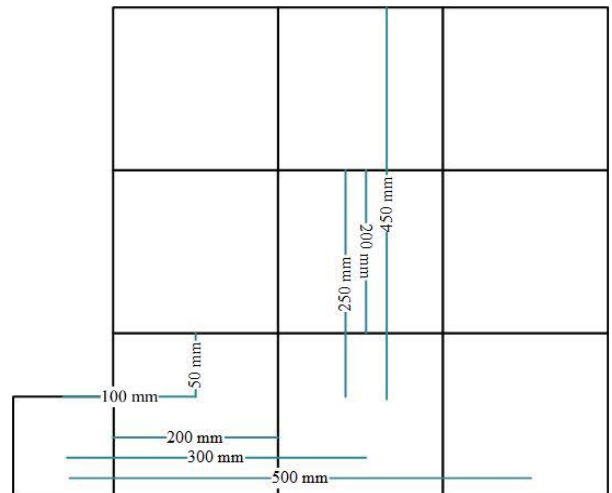
Dari strategi pengendalian tersebut diperlukan beberapa

Form		Weekly (7 days)					
Date	Part Number	Description	Rack	Quantity Receive	UoM	Action	
2021-07-06 22:15:53.000	PART007TRIAL	KABEL JUMPER	3-1-1	5	PC	Receive	
2021-07-06 21:48:51.000	PART007TRIAL	KABEL JUMPER	3-1-1	10	PC	Receive	
2021-07-06 17:12:24.000	PART009TRIAL	ARDUINO MEGA	3-3-1	25	PC	Receive	
2021-07-06 17:12:07.000	PART008TRIAL	PLC	3-2-1	42	PC	Receive	
2021-07-06 17:11:48.000	PART007TRIAL	KABEL JUMPER	3-1-1	33	PC	Receive	
2021-07-06 17:11:31.000	PART008TRIAL	MOUSE	2-3-1	31	PC	Receive	
2021-07-06 17:11:04.000	PART008TRIAL	BAUT	2-2-1	21	PC	Receive	
2021-07-06 17:10:44.000	PART004TRIAL	RESISTOR	2-1-1	49	PC	Receive	
2021-07-06 17:10:27.000	PART008TRIAL	SOLDER	1-3-1	31	PC	Receive	

Gambar 10. Implementasi halaman penyimpanan.



Gambar 11. Implementasi halaman pengambilan.



Gambar 12 Metrik rak.



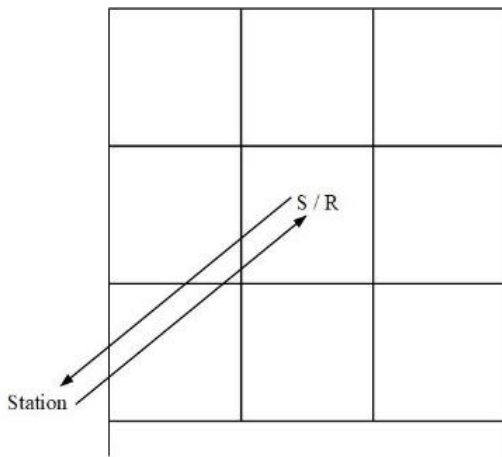
Gambar 13 Model rak.

perhitungan terhadap motor *stepper*, pulley, timing belt dan jarak perpindahan yang dituju. Seperti yang tertera pada datasheet terlampir, motor *stepper* nema 17 memiliki angle step sebesar $1,8^\circ$. Dengan perbandingan 1 putaran sebesar 360° diperoleh,

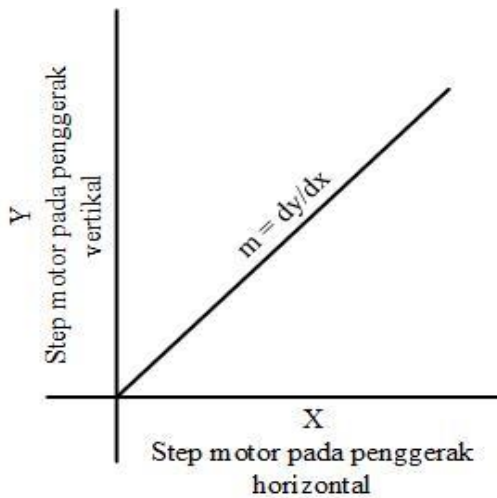
$$1 \text{ putaran} = \frac{360^\circ}{1,8^\circ} \text{ step} \tag{4}$$

$$1 \text{ putaran} = 200 \text{ step} \tag{5}$$

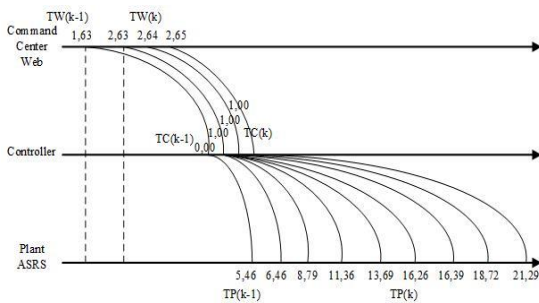
Lalu untuk menghitung perpindahan step/mm digunakan rumus,



Gambar 14. Strategi pengendalian.



Gambar 15. Gradien XY.



Gambar 16. Grafik data packed NCS.

$$\frac{\text{Steps/mm}}{\text{Steps/mm}} = \frac{(\text{Steps per Revolution} \times \text{Driver Step})}{(\text{Belt Pitch} \times \text{Pulley Number of Teeth})} \tag{6}$$

$$\text{Steps/mm} = \frac{(200 \times 1)}{(2 \times 20)} \tag{7}$$

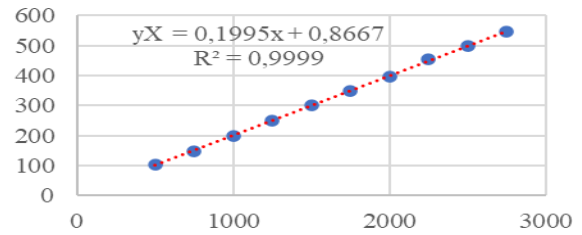
$$\text{Steps/mm} = 5 \tag{8}$$

F. Regresi Linier Motor Stepper XY

Terdapat model matematika dari persamaan regresi linier sebagai berikut

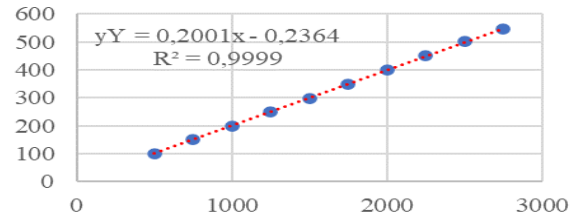
$$y = ax + b \tag{9}$$

Motor Stepper Platform X

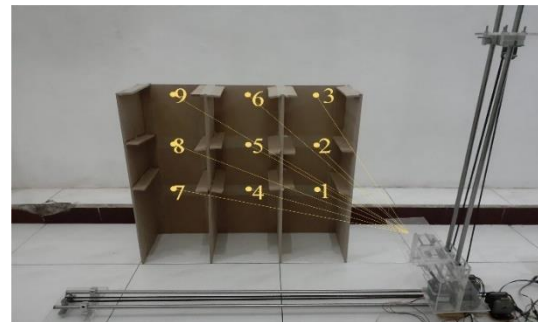


Gambar 17. Grafik regresi linier X.

Motor Stepper Platform Y



Gambar 18. Grafik regresi linier Y.



Gambar 19. Pengujian akurasi sinkronisasi XY.

$$a = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \tag{10}$$

$$b = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum X \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \tag{11}$$

Maka dari persamaan regresi linier tersebut didapatkan model matematika untuk platform X dan Y yaitu,

$$y(X) = a(X).x(X) + b(X) \tag{12}$$

$$y(Y) = a(Y).x(Y) + b(Y) \tag{13}$$

Dari persamaan regresi y(X) dan y(Y) ini dikombinasikanlah dengan persamaan pergeseran dengan steps/mm sebesar 5 mm,

$$y(X) = 5 * (a(X).x(X) + b(X)) \tag{14}$$

$$y(Y) = 5 * (a(Y).x(Y) + b(Y)) \tag{15}$$

Sedangkan kombinasi persamaan regresi dan gradien untuk mengetahui banyaknya steps X yang setara dengan banyaknya steps Y, didapatkan persamaan sebagai berikut,

$$\text{Banyak X} = \text{Jumlah Steps X} / 100 \tag{16}$$

$$\text{Banyak Y} = \text{Jumlah Steps Y} / 100 \tag{17}$$

Tabel 5.
Penguujian jarak platform X

Jarak (mm)	Target	Jarak (mm)	Terukur	Error (%)
100	100	100	0	
100	99	99	1	
100	99	99	1	
100	100	100	0	
100	100	100	0	
100	100	100	0	
100	97	97	3	
100	100	100	0	
100	100	100	0	
100	98	98	2	
100	100	100	0	
Rerata Error (%)				0,7

Tabel 6.
Penguujian jarak platform Y

Jarak (mm)	Target	Jarak Terukur (mm)	Error (%)
100	100	100	0
100	100	100	0
100	99	99	1
100	100	100	0
100	99	99	1
100	99	99	1
100	100	100	0
100	100	100	0
100	100	100	0
100	100	100	0
100	100	100	0
Rerata Error (%)			0,3

Tabel 7.
Penguujian waktu X+Y

Jarak (mm)	X,Y	Waktu X (detik)	Waktu Y (detik)	Waktu X+Y (detik)
100,100		3,23	3,23	06,46
100,200		3,23	5,56	08,79
100,300		3,23	8,13	11,36
300,100		8,13	3,23	11,36
300,200		8,13	5,56	13,69
300,300		8,13	8,13	16,26
500,100		13,16	3,23	16,39
500,200		13,16	5,56	18,72
500,100		13,16	8,13	21,29

III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Platform X dan Platform Y

Penguujian platform X dilakukan berdasarkan jarak target yang harus ditempuh platform. Percobaan platform X untuk bergeser sejauh 100 mm secara horizontal. Percobaan dilakukan sebanyak 10 kali guna mendapatkan rentang selisih jarak sebagai nilai error dari rumus,

$$Error (%) = \frac{Jarak Target - Jarak Terukur}{Jarak Target \times 100} \quad (18)$$

Pada Tabel 3 penguujian jarak platform X diatas didapatkan nilai rerata error sebesar 0,7%. Selanjutnya percobaan platform Y untuk naik setinggi 100 mm secara vertical dilakukan sebanyak 10 kali dengan pencarian error mengunakan rumus yang sama seperti pada Platform X. Hasil dari peenguujian jara platform Y dapat ditinjau pada Tabel 4.

B. Waktu X+Y

Uji coba pergerakan platform X dan dilanjutkan platform

Tabel 3.
Perbandingan gradien XY

dx,dy	m	X	Y	$\frac{X}{Y}$
100,100	1	5,03 kali	4,99 kali	$\frac{5}{5}$
100,200	2	5,03 kali	9,99 kali	$\frac{5}{5}$
100,300	3	5,03 kali	15,00 kali	$\frac{10}{5}$
300,100	3	15,01 kali	4,99 kali	$\frac{15}{15}$
300,200	3	15,01 kali	9,99 kali	$\frac{5}{15}$
300,300	3	15,01 kali	15,00 kali	$\frac{10}{15}$
500,100	5	24,98 kali	4,99 kali	$\frac{15}{25}$
500,200	5	24,98 kali	9,99 kali	$\frac{5}{25}$
500,100	5	24,98 kali	15,00 kali	$\frac{10}{25}$
	3			$\frac{15}{15}$

Tabel 4.
Penguujian akurasi sinkronisasi XY

Koordinat (mm)	X,Y	Perhitungan	Pengukuran	Selisih
100,100		141,42	141,42	0,00
100,200		223,61	223,61	0,00
100,300		316,23	316,23	0,00
300,100		316,23	315,28	-0,95
300,200		360,56	360,56	0,00
300,300		424,26	424,26	0,00
500,100		509,90	508,73	-1,18
500,200		538,52	538,15	-0,37
500,100		583,10	583,10	0,00



Gambar 20. Penguujian presisi sinkronisasi XY.

Y menuju koordinat yang dituju. Penguujian waktu dengan pergerakan terpisah dari masing-masing platform X dan Y diukut menggunakan alat ukur stopwatch. Hasil penguujian waktu X+Y yang terdapat pada Tabel 5

C. Peforma Sistem

Pada Gambar 16 data packed NCS diatas terdapat analisa delay waktu command center web dengan rentang waktu selama 2,63 detik – 2,65 detik. Lalu terdapat delay waktu pada controller Arduino selama 1 detik. Berikutnya didapatkan waktu tempuh mesin plant ASRS beroperasi dengan rentang waktu 6,46 detik sampai dengan 21,29 detik.

D. Regresi Linier Motor Stepper XY

Gambar 17 dan Gambar 18 merupakan hasil nilai regresi linier pada motor stepper platform X dan motor stepper platform Y. Sedangkan nilai perbandingan gradeien XY dan

Tabel 8.
Pengujian presisi sinkronisasi XY

Perhitungan	Pengukuran	Selisih
141,42	141,42	0,212
141,42	141,42	0,212
141,42	140,72	-0,493
141,42	141,42	0,212
141,42	141,42	0,212
141,42	141,42	0,212
141,42	141,42	0,212
141,42	141,42	0,212
141,42	140,01	-1,202
141,42	141,42	0,212

Tabel 9.
Selisih waktu (X+Y) dan sinkronisasi XY

Perhitungan	Pengukuran	Selisih
6,46	3,18	3,28
8,79	5,63	3,16
11,36	8,18	3,18
11,36	8,15	3,21
13,69	8,22	5,47
16,26	8,23	8,03
16,39	13,27	3,12
18,72	13,32	5,4
21,29	13,34	7,95

setaranya putara X dengan Y dapat ditinjau pada Tabel 6.

Nilai jarak perhitungan didapatkan menggunakan teorema pythagoras, berdasarkan koordinat dari x dan y dengan persamaan sebagai berikut,

$$R = \sqrt{b^2 + d^2} \tag{19}$$

E. Sinkronisasi XY

Setelah mendapatkan nilai yang setara untuk mensinkronkan motor stepper pada platform x dan y, berikutnya yaitu melakukan pengujian akurasi sinkronisasi x,y dengan mencari nilai Root Mean Squared Error (RMSE) dengan rumus,

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (J. Pengukuran - J. Perhitungan)^2}{Jumlah Data}} \tag{20}$$

Pada Tabel 9 pengujian tingkat akurasi sinkronisasi XY merupakan uji coba pergerakan platform X dan Y yang bergerak serentak secara sinkron untuk menuju koordinat. Gerakan saat menuju titik yang dituju membentuk garis diagonal. Percobaan yang dilakukan mendapatkan hasil error di beberapa titik. Dari hasil error tersebut akan didapatkan nilai dari akurasi sinkronisasi XY. Hasil pengujian tingkat akurasi dari sinkronisasi XY pada Gambar 19 dan Tabel 7.

$$RMSE = \sqrt{\frac{2,43}{9}} \tag{21}$$

$$RMSE = 0,52 \text{ mm} \tag{22}$$

Berikutnya yaitu menguji tingkat kepresisian pada sinkronisasi x,y dengan mencari nilai standar deviasi. Adapun

standar deviasi (SD) tersebut diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (J. Pengukuran - Rata J. Penukuran)^2}{(Jumlah Data - 1)}} \tag{23}$$

Pada Gambar 20 pengujian tingkat presisi dari sinkronisasi yaitu melakukan uji coba pergerakan platform X dan Y yang bergerak serentak secara sinkron untuk menuju titik 1. Dimana titik tersebut merupakan koordinat 100 mm horisontal dan 100 mm vertikal. Gerakan saat menuju titik yang dituju membentuk garis diagonal. Pengujian yang dilakukan sebanyak 10 kali mendapatkan hasil error di beberapa percobaan. Hasil pengujian tingkat presisi dari sinkronisasi XY pada Tabel 8.

$$SD = \sqrt{\frac{2,07}{9}} \tag{24}$$

$$SD = 0,48 \text{ mm} \tag{25}$$

Berikutnya yaitu penghitungan waktu sinkronisasi XY dengan menyetarakan awalan serta akhiran motor stepper x dan motor stepper y. Setelah mendapatkan hasil waktu yang ditempuh untuk menggerakkan platform x dan platform y secara sinkron bersamaan. Selanjutnya yaitu mencari selisih waktu tempuh dengan membandingkan terhadap waktu tempuh x + waktu tempuh y. Selisih dari waktu (X+Y) dan Sinkronisasi XY yang tertera pada Tabel 9.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil, diantaranya; (1) Mesin plant Automated Storage Retrieval System (ASRS) dapat diperintah melalui web "by-click". (2) Respon waktu dari perintah web hingga motor stepper pada plant melakukan pergerakan yaitu selama 02,63 detik – 02,65 detik. (3) Tingkat akurasi sinkronisasi XY memiliki nilai Root Mean Squared Error (RMSE) sebesar 0,52 mm. (4) Tingkat presisi sinkronisasi XY memiliki nilai standar deviasi sebesar 0,48 mm. (5) Waktu tempuh sinkronisasi XY sebesar 03,12 detik – 08,03 detik, lebih efisien ketika platform X & Y bergerak terpisah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Parab, P. P. N. Gore, P. G. Student, and D. Textile, "A review on automated storage and retrieval system," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 12, pp. 635–640, 2018.
- [2] F. H. M K, Z. M Y, and M. A. A, "An approach to model the physical design of an automated storage and retrieval system," *JSET J. Sci. Technol.*, vol. 03, no. 01, pp. 15–17, 2016.
- [3] D. Bargiotas, A. Ktena, C. Manasis, and O. Ladoukakis, "Measurement System for a Magnetostrictive Torque Sensor," in *16th International Conference on Systems, Signals and Image Processing*, 2009, pp. 1–4.
- [4] W. Cheng and P. K. Law, "Feedforward coordinate control of a robotic cell injection catheter," *Cell Transplant.*, vol. 26, no. 8, pp. 1319–1330, 2017, doi: 10.1177/0963689717720294.