

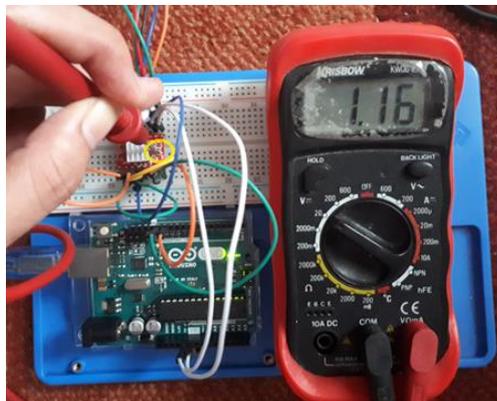
## BAB IV

### PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini dijelaskan mengenai pengujian sistem dan juga analisis sistem seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Hal yang diujikan dalam penelitian ini berupa pengujian driver dan motor stepper, pengujian pada mode manual (*JOYSTICK*) dan pengujian pada mode otomatis (Koordinat X-Y-Z).

#### 4.1 Pengujian Driver Motor Stepper A4988 dan Motor Stepper Nema 17

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa pada perancangan ini menggunakan Nema 17 dengan sudut 1.8 derajat dengan arus 1.45 A, maka dalam satu putaran penuh atau 1 revolusi membutuhkan 200 step ( $360 / 1.8$ ). *Driver* A4988 memiliki 16 pin, memiliki 5 resolusi *microstep* yang berbeda. Beroperasi dengan rentang tegangan 8 V hingga 35 V dan dapat memberikan arus hingga 1A per koil tanpa diberikan pendingin dan *heat sink*, maksimal hingga 2A per koil dengan bantuan pendingin dan *het sink*. Gambar 4.1 adalah proses dimana dilakukan pengaturan dan pengukuran VREFF pada papan sirkuit modul *driver* Stepper A4988



Gambar 4.1 *Set Vreff Pada Papan Sirkuit Modul Driver A4988*

Pada gambar 4.1, sebelum menghubungkan pin *output* dari modul *driver* stepper ke motor stepper, *driver* A4988 harus mengset batas arus yang diperlukan. Cara menetapkan batas arus adalah menghitung tegangan referensi yang sesuai dengan batas arus yang diinginkan, kemudian menyesuaikan batas arus pada potensiometer hingga didapatkan tegangan yang dituju pada pin VREF. Tegangan pin VREF dapat diakses dan diatur pada papan sirkuitnya langsung. Tegangan VREF yang digunakan sebesar 1,16 V, nilai tersebut didapat dari penjelasan bab sebelumnya. Setelah mengset VREF pada 1,16V, maka dilakukan pengukuran baik arus maupun tegangan pada setiap motor stepper yang digunakan, tabel 4.1 adalah tabel hasil pengukuran yang telah dilakukan.

Tabel 4.1 Pengukuran Arus dan Tegangan Mode Full Step

No	Motor Stepper Nema 17	Arus	Tegangan
1	Motor Stepper Posisi X	0,98 A	2,12 V
2	Motor Stepper Posisi Y	0,96 A	2,11 V
3	Motor Stepper Posisi Z	0,97 A	2,12 V
4	Motor Stepper Posisi A	0,99 A	2,13 V

Nilai  $V_{REF} = 1.16V / (8 \times 0,1) = 1,45A$ , maka pada hasil pengukuran arus dari tabel 4.1, arus yang melewati setiap koil seharusnya sebesar 1,45 A juga. Itu tidak terjadi karena *driver* stepper A4988 hanya memberikan 70% saja dari batas arus yang telah di set sebelumnya. Maka  $0,7 \times 1,45A = 1,015A$ , Jika diambil contoh hasil pengukuran arus pada motor stepper X yaitu 0,98A, nilai arus tersebut masih lebih kecil dari arus sebenarnya, itu terjadi karena beberapa faktor seperti rata-rata dan toleransi komponen dan alat ukur multimeter yang digunakan.

Step per revolution Motor Stepper NEMA 17 adalah 200. Nilai ini dapat dirubah oleh IC A4988 dengan fitur mode *microstepping*. Dalam mode ini step per

revolution dapat diperbesar dengan faktor pengali. Pengaturan resolusi dari putaran motor terdapat pada pin MS1, MS2 dan MS3 yang dijelaskan pada Tabel 3.6 pada bab sebelumnya. Pada pengerjaan alat ini penulis menggunakan mode 1/16, maka dilakukan pengukuran dan pengujian *driver* A4988, tabel 4.2 adalah hasil pengukuran arus dan tegangan pada mode *microstepping* 1/16.

Tabel 4.2 Pengukuran Arus dan Tegangan Mode Microstepping 1/16

No	Motor Stepper Nema 17	Arus	Tegangan
1	Motor Stepper Posisi X	1,17 A	2,26 V
2	Motor Stepper Posisi Y	1,19A	2,29 V
3	Motor Stepper Posisi Z	1,16 A	2,25 V
4	Motor Stepper Posisi A	1,18 A	2,27 V

Pada *datasheet driver* A4988, *driver* stepper akan memberikan 100% dari batas arus yang telah di set, akan tetapi arus yang terukur pada setiap koil dari motor stepper tersebut tidak mencapai arus yang seharusnya, seperti penjelasan sebelumnya, , itu terjadi karena beberapa faktor seperti rata-rata dan toleransi komponen dan alat ukur multimeter yang digunakan.

Hal yang perlu diperhatikan selanjutnya adalah berapa banyak tegangan sebenarnya yang melewati setiap koil pada motor stepper. Jika diambil contoh dengan nilai tegangan paling besar yaitu 2,29V, maka besar daya yang diperlukan untuk satu motor stepper adalah.

$$1,19A \times 2 \text{ Coils} \times 2,29V = 5,45 \text{ Watt (Motor Stepper)}$$

$$12V \times 20A = 240 \text{ Watt (Power Supply)}$$

Maka :

$$P \text{ Supply} = 240 \text{ Watt} > P \text{ Motor Stepper} = 5,45 \text{ Watt}$$

Daya yang ditarik dari suplai lebih besar dari daya yang dikirim ke motor. yang mana ini menjadikan konservasi energi yang konsisten dan yang kita harapkan, kehilangan tenaga kemungkinan besar akan menjadikan *driver* motor panas, karenanya motor bisa menjadi sangat panas juga. arus yang ditarik oleh motor lebih tinggi daripada arus suplai karena *driver* mengubah tegangan suplai yang lebih tinggi ke tegangan yang lebih rendah untuk motor. Inilah sebabnya mengapa harus selalu menggunakan  $v_{reff}$  atau arus koil yang sebenarnya saat menetapkan batas arus bukan menggunakan arus catu daya

Selanjutnya adalah pengujian dilakukan untuk mengetahui IC A4988 menjalankan tugasnya sebagai penggerak motor stepper dan untuk mengetahui tingkat akurasi motor stepper NEMA 17 yang memiliki step angle atau perpindahan angular per langkah sebesar 1,8. Pada pengujian IC A4988, arduino sebagai pengontrol mengirimkan sinyal ke pin STEP dan DIR IC A4988 agar motor stepper dapat bergerak sesuai dengan instruksi yang sudah ditentukan. Adapun program untuk pengujian IC A4988 dan motor stepper NEMA 17 ini adalah sebagai berikut.

```
int a;

#define BAUD (9600)

void setup()
{
  Serial.begin(BAUD);
  pinMode(13,OUTPUT) ; // Step
  pinMode(12,OUTPUT) ; // Dir
}
```

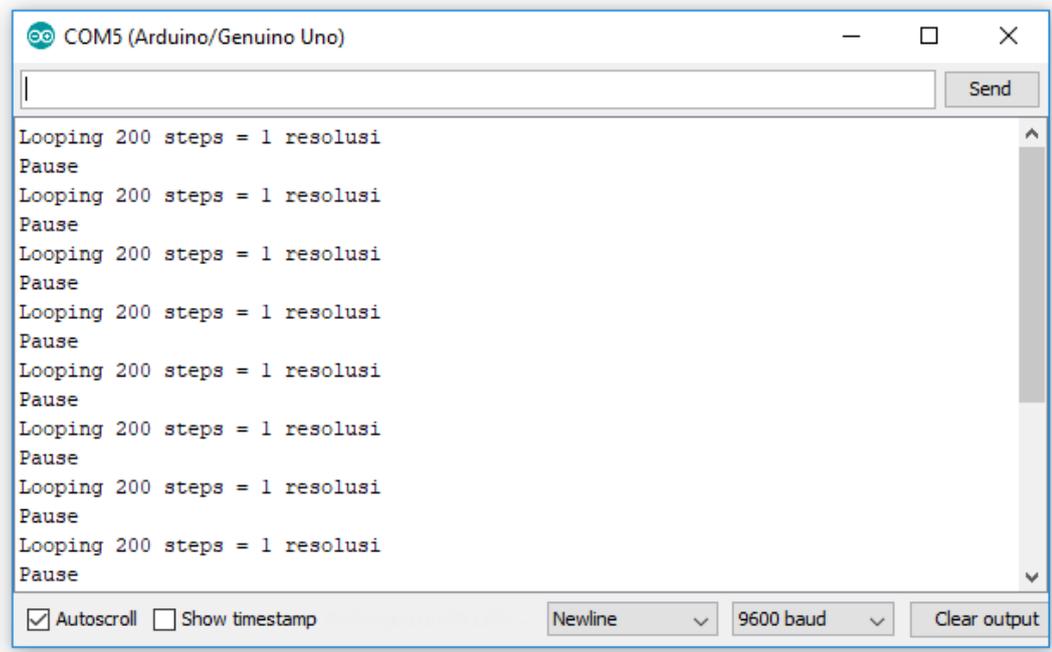
```
void loop()
{
  digitalWrite(12,HIGH) ; // Set Dir high
  Serial.println("Looping 200 steps = 1 resolusi") ;
  for (a = 0; a < 200; a++) // Loop 200 times
  {
    digitalWrite(13,HIGH) ; // Output high
    delay(10) ; // Wait
    digitalWrite(13,LOW) ; // Output low
    delay(100) ; // Wait
  }

  Serial.println("Pause");
  delay(1000) ; // pause one second
}
```

Setelah dieksekusi, IC A4988 dapat menterjemahkan input sinyal arduino menjadi gerakan motor stepper. Motor stepper bergerak searah jarum jam dengan satu resolusinya berjumlah 200 langkah dan kembali berputar seperti semula setelah ada jeda 1 detik.

Pada pengujian motor stepper, arduino akan mengontrol IC A4988 agar motor stepper bergerak hanya satu resolusi dan searah jarum jam. Hal ini bertujuan untuk mengetahui berapa sudut perpindahan angular yang dapat dicapai motor stepper

dalam satu langkah. Merujuk pada datasheet motor stepper NEMA 17, satu langkah motor stepper menghasilkan perpindahan angular sebesar 1,80 . Gambar 4.2 adalah potongan tampilan serial monitor program pada pengujian motor stepper ini :



Gambar 4.2 Tampilan Serial Monitor Pengujian Step Motor

Dari hasil pengujian, motor stepper dapat bergerak satu resolusi dan langkah searah jarum jam. Itu diperjelas dengan penempelan tape sebagai penanda posisi putaran rotor pada motor stepper. Sudut yang dicapai pada masing – masing motor stepper untuk setiap satu langkah tertera pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Pengujian Step Pada Tiap Motor Stepper

No	Motor Stepper Nema 17	Sudut yang dicapai (derajat)
1	Motor Stepper Posisi X	1,8
2	Motor Stepper Posisi Y	1,8
3	Motor Stepper Posisi Z	1,8
4	Motor Stepper Posisi A	1,8

Pada tabel 4.3, semua motor stepper bisa mencapai sudut 1,8 derajat dan data tersebut sesuai dengan spesifikasi motor stepper. Maka semua motor stepper yang digunakan oleh penulis dapat bekerja dengan baik. Kemudian tabel dibawah ini adalah data hasil pengujian 4 motor stepper secara keseluruhan.

Tabel 4.4 *Pengujian Motor Stepper*

<b>Percobaan ke-</b>	<b>Motor X</b>	<b>Motor Y</b>	<b>Motor Z</b>	<b>Motor A</b>
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	1	1	1	1
4	1	1	1	1
5	1	1	1	1
6	1	1	1	1
7	1	1	1	1
8	1	1	1	1
9	1	1	1	1
10	1	1	1	1

Pada tabel 4.4, adalah pengujian motor stepper secara keseluruhan baik pada mode manual maupun pada mode otomatis, dimana pengujian dilakukan secara *random* yaitu 6 kali percobaan pada mode manual dengan menekan tombol navigasi dan 4 kali percobaan pada mode otomatis dengan memasuka titik koordinat pada aplikasi android. Hasil pengujian yang dilakukan dengan percobaan sebanyak 10 kali, motor berputar dengan baik dan pergerakannya sesuai dengan algoritma sistem program yang telah dibuat. Selanjutnya adalah pengujian arah motor pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 *Pengujian Arah Putaran Motor Stepper*

<b>No</b>	<b>Kondisi Gerakan</b>	<b>Motor X</b>	<b>Motor Y</b>	<b>Motor Z</b>	<b>Motor A</b>
1	Kanan Arah X+	HIGH	HIGH	LOW	LOW
2	Kiri Arah X-	LOW	LOW	HIGH	HIGH
3	Atas Arah Y+	LOW	HIGH	LOW	HIGH
4	Bawah Arah Y-	HIGH	LOW	HIGH	LOW
5	Naik Arah Z+	LOW	HIGH	HIGH	LOW
6	Turun Arah Z-	HIGH	LOW	LOW	HIGH

Keterangan :

Motor X = LOW (CCW) = Roll

Motor X = HIGH (CW) = Unroll

Motor Y = LOW (CCW) = Unroll

Motor Y = HIGH (CW) = Roll

Motor Z = LOW (CCW) = Unroll

Motor Z = HIGH (CW) = Roll

Motor A = LOW (CCW) = Roll

Motor A = HIGH (CW) = Unroll

Pengujian arah putaran motor pada tabel 4.5 menjelaskan motor stepper yang mana yang berputar ketika menentukan arah putaran sumbu koordinat, karena pada dasarnya ketika menuju sumbu X, Y, dan Z semua motor stepper akan berputar secara bersamaan, namun perbedaannya terletak pada cara kerja motor stepper dalam menentukan arah putarannya. Selanjutnya perbedaan roll dan unroll, roll yaitu menarik tali sedangkan unroll adalah mngulur tali.

#### **4.2 Pengujian Komunikasi Bluetooth**

Pengujian Komunikasi Bluetooth bertujuan untuk memastikan data yang dikirimkan oleh aplikasi android sudah sesuai dengan data yang dibuat pada program. Gambar 4.3, gambar 4.4, gambar 4.5 adalah tampilan serial monitor pada arduino dimana contoh data mode otomatis yang dimasukan pada koordinat (x5,y10,z15).

```

COM9 (Arduino/Genuino Uno)
!M+X#
2
target Pos    0.00    0.00    0.00
recent Pos    0.00    0.00    0.00
0.00    recent :0.00
          stepMode :2
0
target Pos    0.50    0.00    0.00
recent Pos    0.50    0.00    0.00
0.50    recent :0.50
          stepMode :0
0
target Pos    1.00    0.00    0.00
recent Pos    1.00    0.00    0.00
1.00    recent :1.00
          stepMode :0
0
target Pos    1.50    0.00    0.00
recent Pos    1.50    0.00    0.00
!M-X#
1.50    recent :1.50
          stepMode :0
 Autoscroll  Show timestamp
Newline 9600 baud Clear output

```

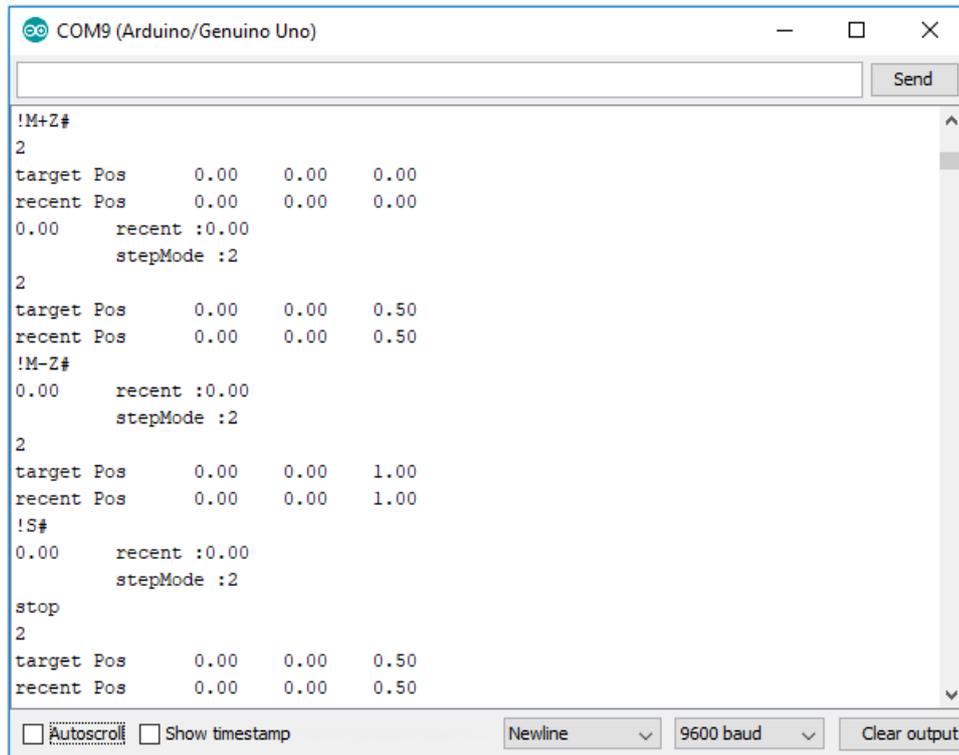
Gambar 4.3 Tampilan Serial Monitor Pengujian Komunikasi Sumbu X

```

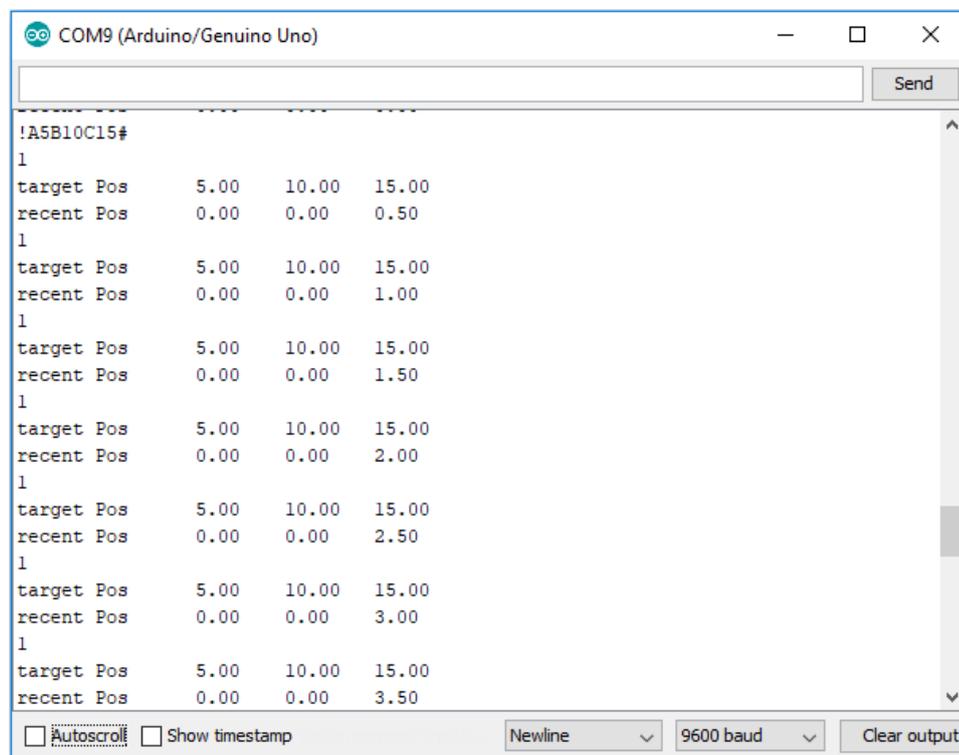
COM9 (Arduino/Genuino Uno)
!M+Y#
2
target Pos    0.00    0.00    0.00
recent Pos    0.00    0.00    0.00
0.00    recent :0.00
          stepMode :2
0
target Pos    0.00    0.50    0.00
recent Pos    0.00    0.50    0.00
0.00    recent :0.00
          stepMode :0
0
target Pos    0.00    1.00    0.00
recent Pos    0.00    1.00    0.00
0.00    recent :0.00
          stepMode :0
0
target Pos    0.00    1.50    0.00
recent Pos    0.00    1.50    0.00
!M-Y#
0.00    recent :0.00
          stepMode :0
 Autoscroll  Show timestamp
Newline 9600 baud Clear output

```

Gambar 4.4 Tampilan Serial Monitor Pengujian Komunikasi Sumbu Y



Gambar 4.5 Tampilan Serial Monitor Pengujian Komunikasi Sumbu Z dan Stop



Gambar 4.6 Tampilan Serial Monitor Pengujian Komunikasi Mode Otomatis

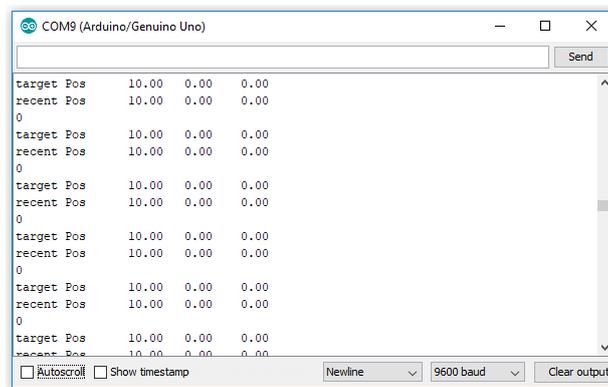
Dari hasil data pengujian pada serial monitor didapatkan bahwa arduino bisa menerima data yang dikirakan oleh aplikasi android. Perintah untuk menggerakan mode manual (*Joystick*) maupun otomatis (X-Y-Z) pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perintah Arah Navigasi dan Titik Koordinat

No	Posisi	Perintah
1	X Positif (Kanan)	!M+X#
2	X Negatif (Kiri)	!M-X#
3	Y Positif (Atas)	!M+Y#
4	Y Negatif (Bawah)	!M-Y#
5	Z Positif (Naik)	!M+Z#
6	Z Negatif (Turun)	!M-Z#
7	Stop	!S#
8	Koordinat (X-Y-Z)	!A B C #

### 4.3 Pengujian Mode Manual (JOYSTICK)

Dibawah ini adalah pengujian mode manual dengan cara membandingkan nilai X pada serial monitor dengan koordinat sebenarnya.



(a)



(b)

Gambar 4.7 (a) Hasil Pembacaan Titik koordinat Tombol Navigasi X+ Pada Serial Monitor (b) Titik Koordinat Sebenarnya

Pengujian pada mode manual (JOYSTICK) adalah proses pengujian sistem yang dilakukan dengan cara membandingkan posisi bandul yang dikendalikan oleh tombol navigasi pada aplikasi android yang bisa dilihat pada serial monitor arduino dengan posisi bandul sebenarnya yang bisa dilihat pada alat. Parameter pengujian ini adalah akurasi dari setiap sumbu baik sumbu X+, X-, Y+, Y-, Z+, dan Z-.

Gambar 4.7(a) adalah contoh hasil pengujian mode manual dengan menekan tombol navigasi X+ pada aplikasi android, jarak posisi koordinat dapat dilihat pada serial monitor, sedangkan gambar 4.7(b) adalah hasil titik koordinat sebenarnya yang terjadi pada alat. Pengujian yang dilakukan pada gambar 4.3 adalah pada posisi dimana bandul bergerak ke posisi sumbu X+ dan berhenti pada titik koordinat (x10, y0, z0). analisa pada pengujian tersebut dimana bandul dapat berdiam tepat pada koordinat yang diinginkan sehingga akurasi yang didapatkan yaitu 100%. Pengujian selanjutnya dilakukan sebanyak 13 kali untk menguji keakurasian sistem alat pada mode manual ini. Pengujian sebanyak 13 kali dilakukan pada semua sumbu koordinat X+, X-, Y+, Y-, Z+, dan Z- dimana pada outputnya akan didapatkan rata-rata akurasi dari setiap pengujian sumbu koordinat. Tabel 4.7, tabel 4.8 dan tabel 4.9 adalah tabel pengujian sistem pada mode Manual (JOYSTICK).

Tabel 4.7 *Pengujian Sistem Pada Mode Manual (Joystick) Sumbu X*

Percobaan ke -	PT	PS	Akurasi (%)	PT	PS	Akurasi (%)
	X+	X+		X-	X-	
1	0	0	-	0	0	-
2	2	1,9	95%	-2	-1,8	90%
3	4	4	100%	-4	-4	100%
4	6	6	100%	-6	-5,8	97%
5	8	7,9	99%	-8	-7,8	98%
6	10	10	100%	-10	-10	100%
7	12	12	100%	-12	-12	100%
8	14	14	100%	-14	-14	100%
9	16	16	100%	-16	-15,9	99%

Percobaan ke -	PT	PS	Akurasi (%)	PT	PS	Akurasi (%)
	X+	X+		X-	X-	
10	18	17,8	99%	-18	-17,5	97%
11	20	20	100%	-20	-19,5	98%
12	22	21,8	99%	-22	-21,5	98%
13	24	24	100%	-24	-23	96%
14	25	24,5	98%	-25	-24	96%
<b>R Akurasi</b>	<b>X+</b>		<b>99%</b>	<b>X-</b>		<b>98%</b>

Tabel 4.8 Pengujian Sistem Pada Mode Manual (Joystick) Sumbu Y

Percobaan ke -	PT	PS	Akurasi (%)	PT	PS	Akurasi (%)
	Y+	Y+		Y-	Y-	
1	0	0	-	0	0	-
2	2	1,9	95%	-2	-2	100%
3	4	3,8	95%	-4	-4	100%
4	6	5,9	98%	-6	-5,8	97%
5	8	7,8	98%	-8	-7,9	99%
6	10	10	100%	-10	-10	100%
7	12	12	100%	-12	-12	100%
8	14	14	100%	-14	-14	100%
9	16	16	100%	-16	-16	100%
10	18	17,9	99%	-18	-18	100%
11	20	19,8	99%	-20	-19,8	99%
12	22	21,8	99%	-22	-21,5	98%
13	24	23,5	98%	-24	-23,5	98%
14	25	24,5	98%	-25	-24,5	98%
<b>R Akurasi</b>	<b>Y+</b>		<b>98%</b>	<b>Y-</b>		<b>99%</b>

Tabel 4.9 Pengujian Sistem Pada Mode Manual (Joystick) Sumbu Z

Percobaan ke -	PT	PS	Akurasi (%)	PT	PS	Akurasi (%)
	Z+	Z+		Z-	Z-	
1	0	0	-	0	0	-
2	5	5	100%	-5	-5	100%
3	10	9,5	95%	-10	-9,5	95%
4	15	14	93%	-15	-14,5	97%
5	20	18,5	93%	-20	-19	95%
6	25	23,3	93%	-25	-24	96%
7	30	28,3	94%	-30	-29	97%
8	35	33,5	96%	-35	-33,5	96%
9	40	38,5	96%	-40	-38,5	96%
10	45	44	98%	-45	-44,5	99%
11	50	49,7	99%	-50	-49,7	99%

Percobaan ke -	PT	PS	Akurasi (%)	PT	PS	Akurasi (%)
	Z+	Z+		Z-	Z-	
12	60	62,5	96%	-60	-62	97%
13	70	78,5	88%	-70	-78	89%
14	80	-	0%	-80	-	0%
<b>R Akurasi</b>	<b>Z+</b>		<b>90%</b>	<b>Z-</b>		<b>91%</b>

Keterangan :

PT : Posisi Target yang ingin dicapai baik pada posisi X+, X-, Y+, Y-, Z+, Z-

PS : Posisi Sebenarnya yang terjadi pada sistem alat.

R Akurasi : Rata-Rata Akurasi

Hasil pengujian mode manual (JOYSTICK) pada tabel 4.6, tabel 4.7 dan tabel 4.8 dapat dilihat perubahan-perubahan nilai parameter posisi atau titik target terhadap posisi sebenarnya yang terjadi pada grid, nilai parameter pada tabel tersebut tidak sepenuhnya benar, dikarenakan keterbatasan alat ukur yang penulis miliki, dimana ukuran pada grid hanya persentimeter dan jika bandul tidak berhenti tepat pada titik tersebut, maka penulis memilih ukuran yang mendekati dari ukuran yang sebenarnya. setelah dilakukan tahap penegujian dicari rata-rata akurasi untuk keenam sumbu tersebut dengan menggunakan persamaan rumus 4.1 berikut ini.

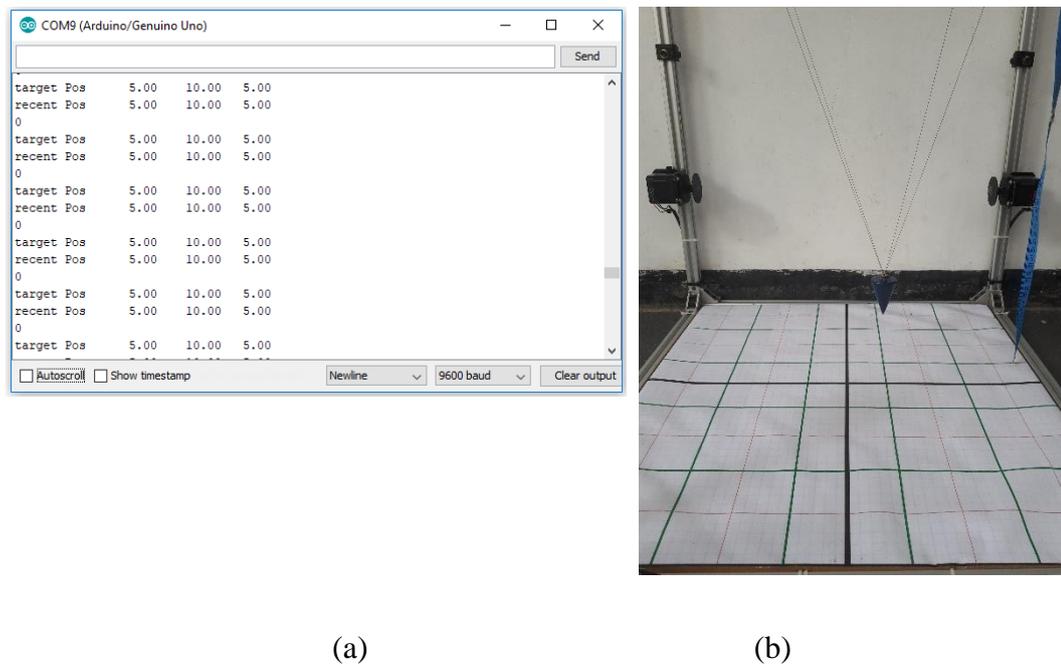
$$\% Akurasi = 100\% - \left( \frac{Posisi\ Sebenarnya - Posisi\ Target}{Posisi\ Target} \right) \dots\dots\dots (4.1)$$

Dari hasil data pada tabel 4.6 tersebut didapatkan nilai akurasi sebesar 98% hingga 99% pada pengujian navigasi X+, X-, Y+ Dan Y-. Nilai akurasi terkecil terjadi pada pengujian navigasi sumbu Z+ dan Z-, terutama setelah di pengujian 50 Cm ke atas. Puncak ketidaksesuaian titik koordinat terjadi di titik Z(70 cm), dimana data yang terbaca pada serial monitor 70 cm, namun posisi sebenarnya yang terjadi pada sistem alat berhenti pada titik 80 cm, sehingga pengujian dihentikan sampai

titik koordinat Z (70cm), karena jika terus dilanjutkan pengujian melebihi ukuran tersebut, tali atau benang akan putus, maka dari hasil data pengujian yang telah didapatkan, pada sumbu Z semakin jauh objek bandul bergerak dari titik pusat atau titik awal, maka akurasi nya akan semakin kecil.

#### 4.4 Pengujian Mode Otomatis (Koordinat X-Y-Z)

Pengujian pada mode Otomatis (Koordinat X-Y-Z) adalah proses pengujian sistem yang dilakukan dengan cara membandingkan nilai parameter masukan sumbu X-Y-Z pada aplikasi android dengan posisi koordinat sebenarnya.



Gambar 4.8 (a) Hasil Pembacaan Titik koordinat X-Y-Z Pada Serial Monitor (b) Titik Koordinat Sebenarnya

Nilai parameter masukan tersebut dapat dilihat pada serial monitor arduino. Parameter pengujian ini adalah akurasi untuk menentukan titik koordinat. Gambar 4.8(a) adalah contoh hasil pembacaan yang diterima arduino pada mode otomatis ini, dimana arduino akan menerima data dari aplikasi android berupa nilai parameter

masukan titik koorniat untuk sumbu X,Y dan Z, pada contoh ini nilai koordinat yang dimasukan adalah X(5), Y(10) dan Z(5).

Sedangkan gambar4.8(b) adalah hasil titik koordinat sebenarnya yang terjadi pada alat. Jadi pada pengujian yang dilakukan pada gambar 4.4 adalah pergerakan pada posisi dimana bandul bergerak dari posisi titik koordinat (x0, y0, z0) yang berada di tengah grid menuju koordinat (x5,y10,z5). Hasil analisa pada pengujian tersebut dimana bandul dapat berdiam tepat pada koordinat yang telah ditentukan sehingga akurasi yang didapatkan yaitu 100%. Nilai akurasi tersebut hanya untuk satu titik koordinat, maka untuk mendapatkan nilai akurasi yang lebih tepat pada sistem kontrol kabel suspensi in, maka selanjutnya pengujian dilakukan sebanyak 24 kali utuk satu kuadran, sehingga jika dijumlahkan semuanya, maka total pengujian yang dilakukan pada mode otomatis ini sebanyak 96 data pengujian. Pengujian ini dilakukan pada semua titik tiap 5 cm pada grid. Tabel 4.10 adalah tabel pengujian sistem pada mode Otomatisl (Koordinat X-Y-Z).

Tabel 4.10 *Pengujian Sistem Pada Mode Otomatis (Koordinat X-Y-Z)*

K	No	Titik Awal			Target			Koordinat Sebenarnya			JT	JS	Akurasi (%)
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z			
	1	0	0	0	5	5	5	5	5	5	8,7	8,7	100%
	2	5	5	5	5	10	5	5	10	5	5,0	5,0	100%
	3	5	10	5	5	15	10	5	14,5	10,5	7,1	7,1	100%
	4	5	15	10	5	20	10	5	19,5	10,5	5,0	4,5	91%
	5	5	20	10	5	25	15	5	23	16	7,1	6,7	95%
	6	5	25	15	10	5	15	10	5	16	20,6	20,6	100%
	7	10	5	15	10	10	20	10	10	20	7,1	7,1	100%
	8	10	10	20	10	15	20	10	14,5	20,5	5,0	4,5	91%

	No	Titik Awal			Target			Koordinat Sebenarnya			JT	JS	Akurasi (%)	
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z				
<b>I</b>	9	10	15	20	10	20	25	10	18,5	25,5	7,1	6,5	92%	
	10	10	20	25	10	25	25	10	24	26	5,0	4,1	82%	
	11	10	25	25	15	5	30	15	4,5	30	21,2	21,7	98%	
	12	15	5	30	15	10	30	15	9,5	30,5	5,0	4,5	91%	
	13	15	10	30	15	15	35	15	14	35,5	7,1	6,8	96%	
	14	15	15	35	15	20	35	15	19	36	5,0	4,1	82%	
	15	15	20	35	15	25	40	15	22	41	7,1	6,3	89%	
	16	15	25	40	20	5	40	18	4,5	41	20,6	20,7	99%	
	17	20	5	40	20	10	45	18	8	46	7,1	7,0	99%	
	18	20	10	45	20	15	45	18	14	47	5,0	4,9	98%	
	19	20	15	45	20	20	50	18	16	52,5	7,1	7,8	89%	
	20	20	20	50	20	25	50	18	21	53,5	5,0	4,2	83%	
	21	20	25	50	25	5	55	22	4	58	21,2	22,6	94%	
	22	25	5	55	25	10	60	22	8	64	7,1	9,9	59%	
	23	25	10	60	25	15	65	22	13	70	7,1	10,9	46%	
	24	25	15	65	25	20	70	22	18	80	7,1	15,6	-20%	
		1	0	0	0	-5	5	5	-5	5	5	8,7	8,7	100%
		2	-5	5	5	-5	10	5	-5	10	5	5,0	5,0	100%
		3	-5	10	5	-5	15	10	-5	15	10	7,1	7,1	100%
		4	-5	15	10	-5	20	10	-5	19,5	10	5,0	4,5	90%
		5	-5	20	10	-5	25	15	-5	24	15,5	7,1	6,8	96%
		6	-5	25	15	-10	5	15	-10	5	15,5	20,6	20,6	100%
		7	-10	5	15	-10	10	20	-10	10	20	7,1	7,1	100%
		8	-10	10	20	-10	15	20	-10	14,5	21	5,0	4,6	92%
	9	-10	15	20	-10	20	25	-10	18	26	7,1	6,7	95%	
	10	-10	20	25	-10	25	25	-10	24,5	26	5,0	4,6	92%	
	11	-10	25	25	-15	5	30	-10	4,5	30,5	21,2	21,2	100%	

II	No	Titik Awal			Target			Koordinat Sebenarnya			JT	JS	Akurasi (%)
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z			
	12	-15	5	30	-15	10	30	-15	9,5	31	5,0	4,6	92%
	13	-15	10	30	-15	15	35	-15	13,5	36	7,1	6,9	98%
	14	-15	15	35	-15	20	35	-15	19	36,5	5,0	4,3	85%
	15	-15	20	35	-15	25	40	-15	23	41	7,1	6,7	95%
	16	-15	25	40	-20	5	40	-19	4,5	41,5	20,6	20,9	98%
	17	-20	5	40	-20	10	45	-19	9	46	7,1	7,3	97%
	18	-20	10	45	-20	15	45	-19	14	46,5	5,0	4,4	88%
	19	-20	15	45	-20	20	50	-19	17	52	7,1	7,3	96%
	20	-20	20	50	-20	25	50	-19	21	54	5,0	4,2	85%
	21	-20	25	50	-25	5	55	-22	4,5	57	21,2	21,8	97%
	22	-25	5	55	-25	10	60	-22	7	64	7,1	9,7	63%
	23	-25	10	60	-25	15	65	-22	13	71	7,1	11,8	33%
	24	-25	15	65	-25	20	70	-22	18	79	7,1	14,6	-7%
III	1	0	0	0	-5	-5	5	-5	-5	5	8,7	8,7	100%
	2	-5	-5	5	-5	-10	5	-5	-10	5	5,0	5,0	100%
	3	-5	-10	5	-5	-15	10	-5	-15	10	7,1	7,1	100%
	4	-5	-15	10	-5	-20	10	-5	-19,5	10	5,0	4,5	90%
	5	-5	-20	10	-5	-25	15	-5	-24	15,5	7,1	6,8	96%
	6	-5	-25	15	-10	-5	15	-10	-5	15,5	20,6	20,6	100%
	7	-10	-5	15	-10	-10	20	-10	-10	20	7,1	7,1	100%
	8	-10	-10	20	-10	-15	20	-10	-14,5	21	5,0	4,6	92%
	9	-10	-15	20	-10	-20	25	-10	-18,5	26	7,1	6,9	98%
	10	-10	-20	25	-10	-25	25	-10	-24	26,5	5,0	4,3	85%
	11	-10	-25	25	-15	-5	30	-10	-4,5	30,5	21,2	21,2	100%
	12	-15	-5	30	-15	-10	30	-15	-9,5	30,5	5,0	4,5	91%
	13	-15	-10	30	-15	-15	35	-15	-13,5	36	7,1	6,9	98%
	14	-15	-15	35	-15	-20	35	-15	-19	36	5,0	4,1	82%

No	Titik Awal			Target			Koordinat Sebenarnya			JT	JS	Akurasi (%)	
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z				
15	-15	-20	35	-15	-25	40	-15	-23,5	41	7,1	6,9	98%	
16	-15	-25	40	-20	-5	40	-19	-4,5	41,5	20,6	20,9	98%	
17	-20	-5	40	-20	-10	45	-19	-9	46	7,1	7,3	97%	
18	-20	-10	45	-20	-15	45	-19	-14	47	5,0	4,6	92%	
19	-20	-15	45	-20	-20	50	-19	-17	52	7,1	7,3	96%	
20	-20	-20	50	-20	-25	50	-19	-22	53,5	5,0	4,2	83%	
21	-20	-25	50	-25	-5	55	-22	-4,5	57	21,2	21,8	97%	
22	-25	-5	55	-25	-10	60	-22	-8	63	7,1	9,1	72%	
23	-25	-10	60	-25	-15	65	-22	-13,5	70	7,1	11,0	44%	
24	-25	-15	65	-25	-20	70	-22	-18,5	79,5	7,1	15,2	-15%	
IV	1	0	0	0	5	-5	5	5	-5	5	8,7	8,7	100%
	2	5	-5	5	5	-10	5	5	-10	5	5,0	5,0	100%
	3	5	-10	5	5	-15	10	5	-14,5	10,5	7,1	7,1	100%
	4	5	-15	10	5	-20	10	5	-19,5	10,5	5,0	4,5	91%
	5	5	-20	10	5	-25	15	5	-23	16	7,1	6,7	95%
	6	5	-25	15	10	-5	15	10	-5	16	20,6	20,6	100%
	7	10	-5	15	10	-10	20	10	-10	20	7,1	7,1	100%
	8	10	-10	20	10	-15	20	10	-14,5	20,5	5,0	4,5	91%
	9	10	-15	20	10	-20	25	10	-18	25,5	7,1	6,3	89%
	10	10	-20	25	10	-25	25	10	-24	26	5,0	4,1	82%
	11	10	-25	25	15	-5	30	15	-4,5	30	21,2	21,7	98%
	12	15	-5	30	15	-10	30	15	-9,5	30,5	5,0	4,5	91%
	13	15	-10	30	15	-15	35	15	-14	35,5	7,1	6,8	96%
	14	15	-15	35	15	-20	35	15	-19	35,5	5,0	4,0	81%
	15	15	-20	35	15	-25	40	15	-23	41	7,1	6,7	95%
	16	15	-25	40	20	-5	40	18	-4,5	41	20,6	20,7	99%
	17	20	-5	40	20	-10	45	18	-8	46	7,1	7,0	99%

No	Titik Awal			Target			Koordinat Sebenarnya			JT	JS	Akurasi (%)
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z			
18	20	-10	45	20	-15	45	18	-14	47	5,0	4,9	98%
19	20	-15	45	20	-20	50	18	-16,5	52,5	7,1	7,9	88%
20	20	-20	50	20	-25	50	18	-22,5	53,5	5,0	4,7	95%
21	20	-25	50	25	-5	55	22	-4	58	21,2	22,6	94%
22	25	-5	55	25	-10	60	22	-8,5	63,5	7,1	9,7	63%
23	25	-10	60	25	-15	65	22	-13	70,5	7,1	11,3	40%
24	25	-15	65	25	-20	70	22	-18,5	79	7,1	14,7	-8%

Keterangan :

K = Kuadran

JT = Jarak Target

JS = Jarak Sebenarnya

Hasil pengujian mode otomatis (Koordinat X-Y-Z) pada tabel 4.9 dapat dilihat perubahan-perubahan nilai parameter posisi atau titik target dari titik awal terhadap titik koordinat sebenarnya yang terjadi pada grid, nilai parameter pada tabel tersebut tidak sepenuhnya benar, terutama semakin tinggi pengujian sumbu Z, pengukuran dan pengambilan data semakin susah, itu dikarenakan keterbatasan alat ukur yang penulis miliki. Selanjutnya dimana ukuran pada grid hanya persentimeter dan jika bandul tidak berhenti tepat pada titik tersebut, maka penulis memilih ukuran yang mendekati dari ukuran yang sebenarnya.

Poin pertama tahap pengujian adalah menentukan titik awal dan titik target yang ingin dicapai dimana titik awal dimulai dari koordinat (X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, Z<sub>0</sub>). Poin selanjutnya yaitu titik awal diambil dari titik target sebelumnya dan begitu

seterusnya hingga mencapai pengujian sebanyak 24 kali. Setelah menentukan titik awal dan target, maka akan didapatkan koordinat sebenarnya yang terjadi pada alat, nilai parameter yang dibandingkan adalah koordinat sebenarnya terhadap pembacaan data input dari aplikasi android yang bisa dilihat pada serial monitor arduino seperti yang telah dijelaskan pada gambar 4.4. Setelah dilakukan tahap pengujian, maka dicari rata-rata akurasi untuk setiap percobaannya dimana untuk mendapatkan nilai akurasi, harus dicari terlebih dahulu nilai jarak target dan jarak sebenarnya, nilai tersebut yang nantinya akan dijadikan nilai masukan untuk mendapatkan nilai akurasi. Untuk mencari nilai jarak target dan jarak sebenarnya yaitu dengan menggunakan persamaan rumus 4.2 dan 4.3 berikut ini.

$$\text{Jarak Target} = \sqrt{(X_t - X_a)^2 + (Y_t - Y_a)^2 + (Z_t - Y_a)^2} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\text{Jarak Sebenarnya} = \sqrt{(X_s - X_a)^2 + (Y_s - Y_a)^2 + (Z_s - Y_a)^2} \dots\dots\dots (4.3)$$

Keterangan :

X-Y-Z Titik Awal =  $X_a, Y_a, Z_a$

X-Y-Z Target =  $X_t, Y_t, Z_t$

X-Y-Z Koordinat Sebnarnya =  $X_s, Y_s, Z_s$

Setelah didapatkan nilai jarak target dan jarak sebenarnya pada setiap percobaan, nilai akurasi dapat dicari dengan menggunakan persamaan rumus 4.4 berikut ini.

$$\% \text{ Akurasi} = 100\% - \left( \frac{\text{Jarak Sebenarnya} - \text{Jarak target}}{\text{Jarak Target}} \right) \dots\dots\dots (4.4)$$

Dari hasil data pada tabel 4.9 tersebut didapatkan bahwa akurasi cenderung kecil setelah melewati titik 20 cm dari titik awal, baik itu pada posisi sumbu X, Y, maupun Z. Pada koordinat X-Y pada tabel pengujian manual, nilai akurasi baik

karena hanya mempunyai error 1-2%, namun pada pengujian otomatis titik pada koordinat X-Y akurasi terganggu, itu disebabkan pengaruh pergerakan sumbu Z, karena pada pengujian sebelumnya, akurasi nilai pada sumbu Z sangat kecil. Pada pengujian terhadap titik koordinat tersebut, nilai akurasi terus berkurang terutama pada percobaan 22, 23, dan 24 nilai akurasi kurang dari 80%. Puncaknya pada pengujian percobaan 24 semua titik koordinat baik pada kuadran 1, 2, 3, dan 4 melenceng jauh dari titik koordinat yang ditentukan. Kondisi tali atau benang pada saat pengujian percobaan 22-24 tidak mengulur dan menarik dengan baik, maka dari hasil data pengujian yang telah didapatkan, semakin jauh objek bandul bergerak dari titik pusat atau titik awal, maka akurasi nya akan semakin kecil.

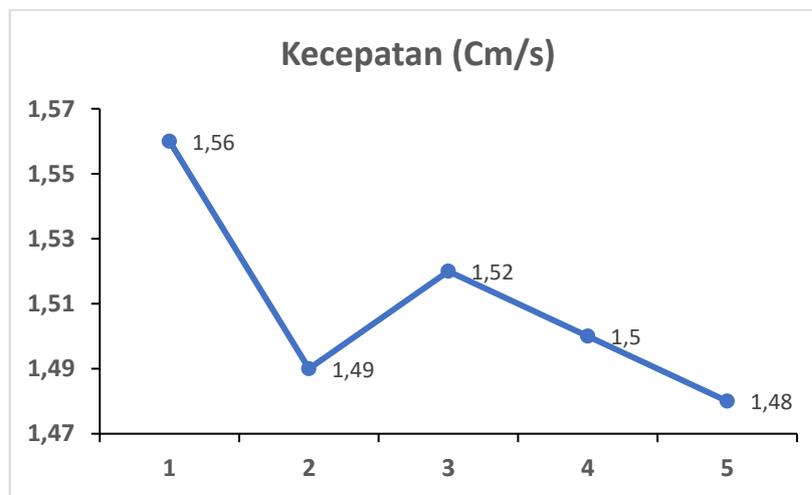
#### **4.5 Pengujian Kecepatan**

Pada pengujian ini adalah proses untuk mencari seberapa cepat sistem ini bergerak. Pengujiannya dengan cara memasukan titik koordinat setiap 5 cm baik pada pergerakan horizontal maupun vertikal, selanjutnya mencatat berapa detik pergerakan tersebut. Parameter yang dicari pada pengujian ini adalah kecepatan dengan satuannya yaitu Cm/S.

Pada tabel 4.11 adalah pengujian pergerakan horizontal, yaitu terhadap pergerakan sumbu X dan Y, pada pengujian ini dilakukan sebanyak 5 kali, hasil kecepatan yang didapatkan dirata-ratakan sehingga kecepatannya yaitu sebesar 1,51 Cm/s, sedangkan gambar 4.9 merupakan grafik pengujian kecepatan X-Y (horizontal).

Tabel 4.11 *Pengujian Kecepatan X-Y*

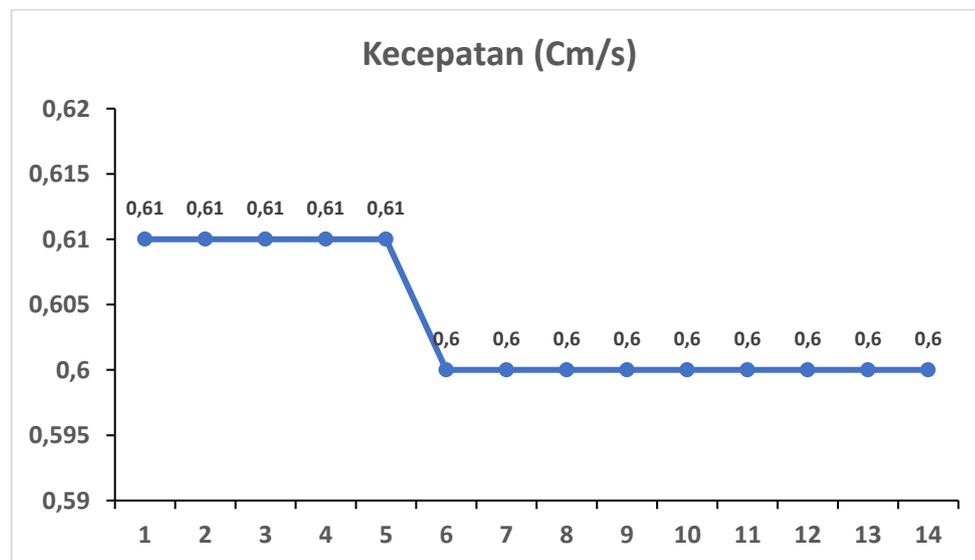
Percobaan Ke-	Jarak (Cm)	Waktu (s)	Kecepatan (Cm/s)
1	5	3,2	1,56
2	10	6,7	1,49
3	15	9,9	1,52
4	20	13,3	1,50
5	25	16,9	1,48
<b>Rata- rata</b>			1,51

Gambar 4.9 *Grafik Pengujian Kecepatan X-Y (Horizontal)*

Sedangkan pengujian pada tabel 4.12 adalah pengujian pergerakan vertikal, yaitu terhadap pergerakan sumbu Z saja, pengujian dilakukan sebanyak 14 kali dengan hasil kecepatan yang didapatkan sebesar 0,60 Cm/s. Kecepatan sistem yang dihasilkan berbeda, itu dikarenakan pada pengujian pertama, sistem menggunakan metode interpolasi linier sehingga pergerakannya akan mencari jarak tercepat, sedangkan pada sumbu Z bergerak sesuai algoritma biasa, sedangkan gambar 4.10 merupakan grafik pengujian kecepatan Z (Vertikal).

Tabel 4.12 *Pengujian Kecepatan Z*

Percobaan Ke-	Jarak (Cm)	Waktu (s)	Kecepatan (Cm/s)
1	5	8,2	0,61
2	10	16,4	0,61
3	15	24,7	0,61
4	20	33	0,61
5	25	41,3	0,61
6	30	49,6	0,60
7	35	58,1	0,60
8	40	66,6	0,60
9	45	75,1	0,60
10	50	83,4	0,60
11	55	91,7	0,60
12	60	100	0,60
13	65	108,3	0,60
14	70	116,6	0,60
<b>Rata-rata</b>			0,60

Gambar 4.10 *Grafik Pengujian Kecepatan Z (Vertikal)*

Persamaan (4.5) adalah rumus untuk mendapatkan kecepatan, nilai pembantu yang harus ditentukan terlebih dahulu adalah jarak dan waktu.

$$\text{Kecepatan} = \frac{\text{Jarak (Cm)}}{\text{Waktu (S)}} \dots\dots\dots (4.5)$$

