

RANCANG BANGUN ROBOT MOBIL DENGAN SISTEM NAVIGASI BERBASIS ODOMETRY MENGGUNAKAN ROTARY ENCODER

Hendrik J. Djahi, Samy Y. Doo, Antonius M. P. Nuga

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana

Jalan Adisucipto-Penfui Kupang, Telp. (0380) 881557, HP.081239898101

Email : hdjahi@staf.undana.ac.id, samyeverson@staf.undana.ac.id, anthonuga46@gmail.com

Dewasa ini penelitian mengenai dunia robotika berkembang begitu pesat. Temuan – temuan baru tersebut justru memaksa para peneliti untuk selalu mencari dan menemukan cara efektif agar robot yang dihasilkan lebih baik dari sebelumnya. Salah satunya berkaitan dengan proses pergerakan robot. Pada umumnya sistem navigasi robot memanfaatkan garis dan dinding yang tentunya membatasi pergerakan sebuah robot. Oleh karena itu metode *odometry* mulai dipakai untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Pada prinsipnya metode *odometry* memperkirakan posisi relatif terhadap posisi awal dalam bernavigasi sehingga memungkinkan pergerakan sebuah robot lebih leluasa.

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan suatu sistem navigasi robot yang baik dengan menggunakan metode *odometry*. Pembacaan jarak tersebut dilakukan oleh robot dengan menggunakan *rotary encoder*. Data yang diterima oleh sensor dalam *rotary encoder* akan diproses oleh mikrokontroler untuk mengatur pergerakan robot sesuai program yang telah ditanamkan.

Hasil dari penelitian ini adalah posisi robot dengan koordinat akhir tidak selalu mengikuti koordinat akhir yang diberikan. Penyebabnya karena kurang tepatnya pemilihan konstanta pengubah sehingga berpengaruh pada tingkat kepresisian gerakan robot. Tetapi secara umum robot dapat bernavigasi *odometry* dengan cukup baik. Adapun faktor lain yang juga pengaruh terhadap hasil akhir pergerakan robot yakni adanya getaran pada robot serta permukaan lintasan. Keduanya sangat mempengaruhi pembacaan jumlah pulsa pada *rotary encoder* sehingga mempengaruhi juga hasil dari perhitungan *odometry* pada robot.

Kata Kunci : Navigasi *Odometry*, *Rotary encoder*, Robot

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi saat ini banyak memudahkan kegiatan manusia dalam beraktifitas. Salah satu perkembangan ini adalah dalam dunia robotika. Kemampuan robot dalam memudahkan kegiatan manusia berbeda-beda sesuai dengan tujuan robot tersebut dirancang. Ada yang melakukan pekerjaannya tetap pada satu tempat tertentu sedangkan lainnya dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain.

Proses perpindahan robot terdiri dari dua cara yaitu dengan cara dikontrol oleh manusia (manual kontrol) dan robot yang dapat bekerja sendiri sesuai dengan kehendak pengguna (otomatis kontrol). Robot otomatis membutuhkan sebuah pengindraan dan sistem navigasi untuk dapat bergerak dengan sendirinya. Umumnya pengindraan dan navigasi yang digunakan memanfaatkan garis dan dinding.

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan Dona E.D.G, ST dan Randi M. Litik, ST, pengindraanya memanfaatkan dinding dan garis. Metode ini cukup efektif namun

penggunaannya masih membatasi pergerakan sebuah robot. Dengan kata lain, robot hanya dapat bergerak ke suatu target bila ada garis atau dinding yang berada disekitar tujuan tersebut. Robot tidak dapat berbuat apa-apa jika berada diluar keadaan yang bisa diindranya (tidak ada garis atau dinding).

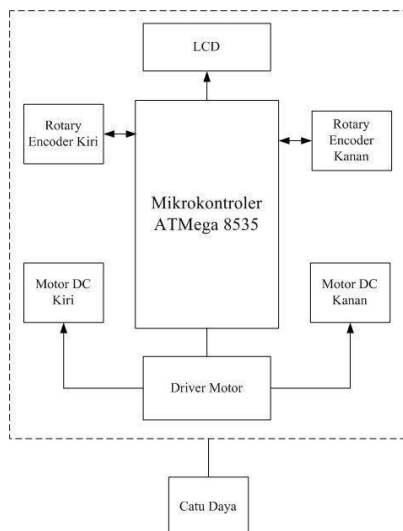
Berbeda dengan metode garis dan dinding, *odometry* pada prinsipnya memperkirakan posisi relatif terhadap posisi awal dan hal tersebut memungkinkan pergerakan sebuah mobil robot menjadi lebih leluasa. Perkiraan posisi relatif robot dari metode *odometry*, menggunakan perhitungan jumlah pulsa yang dihasilkan dari putaran roda untuk diolah menjadi informasi oleh *rotary encoder*. Untuk memperkirakan posisi relatif robot, diperlukan konstanta peubah yang mampu mengkonversi jumlah *counter* yang dihasilkan *rotary encoder* menjadi panjang lintasan yang harus ditempuh oleh robot.

3. Metodologi

3.1 Konfigurasi Sistem

Robot yang dirancang terdiri dari 3 bagian utama yakni mekanik, elektronik dan perangkat lunak. Sensor sebagai masukan (*input*) pada robot adalah *rotary encoder* yang diletakan pada akuator robot kiri dan kanan yang diletakan secara tegak lurus. Sedangkan sistem kendali sensor dan robot secara keseluruhan adalah sistem mikrokontroler Arduino Mega 2560.

Data masukan dari *rotary encoder* akan diolah pada mikrokontroler kemudian ditampilkan pada LCD. Data yang dihasilkan akan dijadikan sebagai acuan instruksi bagi robot untuk mengetahui posisi terakhir robot. Semua rangkaian dan modul penyusun robot ini mendapat *supply* dari baterai. Konfigurasi sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.1.

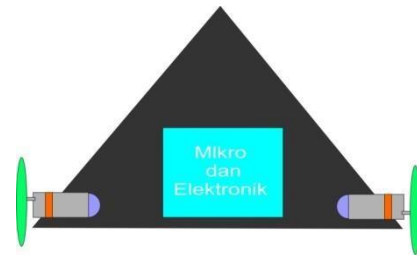


Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

3.2 Perancangan Perangkat Keras

3.2.1. Bodi Robot

Perancangan dan pembuatan mekanik robot terdiri dari kerangka utama yang berbentuk seperti segitiga. Dimana pada *body* robot terdapat bagian yang berfungsi sebagai tempat peletakan komponen penyusun robot. Robot dirancang menggunakan motor DC sebagai penggerak. Bodi robot dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Bodi Robot

3.2.2. Akuator Robot

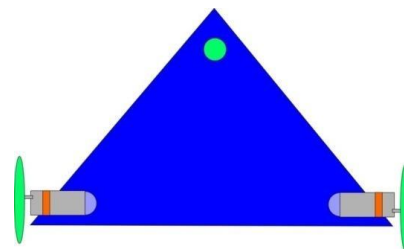
Akuator robot yang dipakai menggunakan 2 buah motor DC. Motor DC yang digunakan beroperasi pada tegangan maksimal 24 volt dan mampu memberikan kecepatan maksimum hingga 4500 resolusi per menit (*rpm*). Dua buah motor DC dengan *gearbox* tersebut yang digunakan sebagai penggerak roda yang dihubungkan dengannya. Kedua motor DC tersebut ditempatkan pada bagian depan robot di sisi kiri dan kanan. Motor DC yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Motor DC Penggerak Robot

3.2.3. Posisi Rotary Encoder

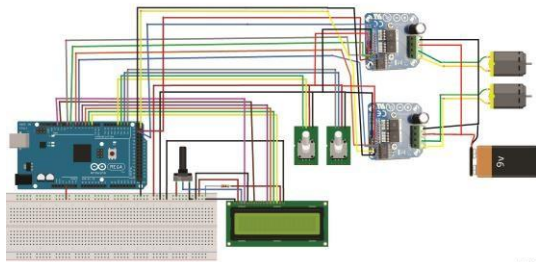
Terdapat 2 buah *rotary encoder* pada motor DC robot, dengan posisi 2 buah *rotary encoder* dibagian kiri dan kanan robot. Hal ini bertujuan agar robot dapat mengetahui jumlah putaran roda kiri dan kanan untuk mengetahui posisi robot sampai ke tujuan berdasarkan jumlah putaran roda.



Gambar 3.4. Posisi Rotary Encoder

3.3 Perancangan Elektronika Robot

Tahap perancangan elektronika robot dalam sistem ini merupakan tahap untuk merangkai koneksi antara *rotary encoder*, motor DC dan board arduino. Tahap perancangan ini akan digambarkan dan dijelaskan pada masing-masing rangkaian yang akan dikoneksikan melalui pin-pin yang terdapat pada board arduino.



Gambar 3.8 Koneksi Keseluruhan Robot

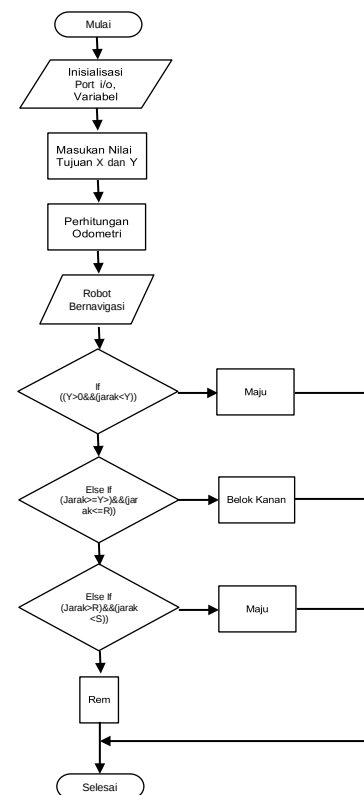
Berikut merupakan penjelasan *hardware* yang terhubung pada mikrokontroler arduino mega 2560 :

1. *Rotary encoder* terhubung ke arduino melalui 4 buah pin *interrupt* (sehingga pada saat motor berputar, program dapat mengeksekusi perintah yang ada pada pin *interrupt*). Pin *Ground* dan *Vcc* rotary encoder masing-masing terhubung pada pin *Ground* dan *Vcc* arduino.
2. Motor DC dihubungkan pada output dari *driver* motor dan input dari *driver* motor masuk ke pin 22, 23, 24 dan 25 pada arduino.
3. LCD terhubung pada arduino melalui pin D7 pada pin 2, pin D6 pada pin 3, pin D5 pada pin 4, pin D4 pada pin 5, pin E pada pin 11 dan RS pada pin 12 arduino. Pin V0 terhubung pada pin tengah potensio, pin RW, pin Vss dan pin Katoda bersama pin *Ground* potensio terhubung pada pin *Ground* arduino sedangkan Pin Vcc bersama pin Vcc potensio terhubung pada Vcc arduino. Untuk pin Anoda terhubung ke Vcc melalui sebuah resistor 10K Ω .

3.4 Perancangan Perangkat Lunak

Dalam sistem ini digunakan sebuah algoritma sehingga sistem bekerja sesuai dengan urutan yang diinginkan. Pada gambar 3.11 merupakan *flowchart* perancangan perangkat lunak keseluruhan. *Flowchart* tersebut menjelaskan bagaimana proses input dari *rotary* hingga robot dapat mencapai target.

Hal yang pertama dilakukan sistem setelah MULAI ialah inisialisasi port dan memasukan data x,y untuk tujuan akhir robot. Nilai tujuan X dan Y dimasukan menggunakan *pushbutton* sehingga koordinat robot bisa dirubah secara lebih fleksibel. Setelah nilai X dan Y dimasukan, robot akan otomatis bergerak menuju target yang diberikan. Robot berjalan pertama-tama melalui sumbu Y. Setelah nilai Y dari hasil hitungan *odometry* lebih besar dari atau sama dengan nilai masukan Y barulah robot melanjutkan perpindahan menuju sumbu X. Jika jika belum mencapai tujuan, robot akan mengecek kembali jarak robot terhadap tujuan.



Gambar 3.11 Flowchart Perancangan Perangkat Lunak Keseluruhan

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Gambaran Umum Penelitian

Dalam penelitian ini, sistem yang dibangun adalah sistem navigasi robot menggunakan metode odometri berdasarkan nilai pembacaan dari *rotary encoder* untuk mengetahui jarak dan posisi.

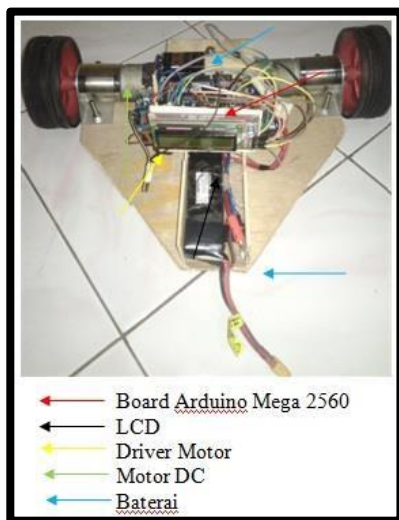
Robot menggunakan 1 unit board arduino mega 2560, yang berfungsi sebagai pusat pengontrol. Dalam sistem ini, yang digunakan menjadi *input* adalah 2 buah *rotary encoder* pada masing-masing motor DC yang digunakan sedangkan *output*-nya adalah putaran motor DC tersebut .

Robot akan bergerak setelah diberikan nilai posisi akhir pada program dan akan berhenti secara otomatis apabila robot tersebut sudah menemukan target/posisi yang diminta.

Untuk mengetahui hasil dari proses sistem ini maka dilakukan beberapa pengujian pada robot tersebut. Robot yang dibuat berbentuk mobil dengan panjang 30 cm dan lebar 20 cm dan tinggi 10 cm. Menggunakan tiga buah roda, dengan posisi dua roda di bagian depan (kiri dan kanan) dan satu di bagian tengah belakang (*free Wheel*). Fisik (*body*) robot terdiri dari dua tingkat. Tingkat pertama diletakan *driver motor* dan baterai lippo 12 volt sebagai sumber tegangan. Pada tingkat kedua diletakan 1 (satu) buah baterai 9 volt sebagai suplai tegangan ke LCD 16x2, mikrokontroler, dan 2 (dua) buah *rotary encoder*.

4.2 Bentuk Fisik Robot

Bentuk fisik robot terdiri dari bodi robot dan rangkaian elektronika. Bentuk fisik keseluruhan robot ditunjukkan pada gambar 4.1.

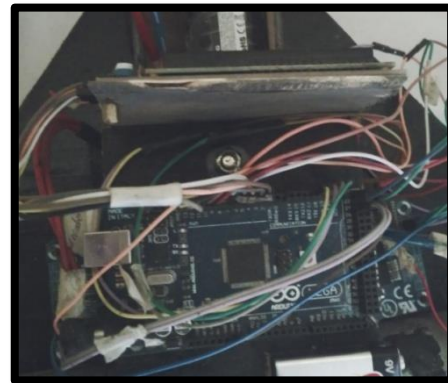


Gambar 4.1 Bentuk Fisik Robot Mobil

Pada gambar 4.1 adalah bentuk fisik mobil robot dimana terdiri dari rangka robot, dan rangkaian elektronika. Untuk masing-masing bagian robot dapat dilihat pada gambar 4.2 dan 4.3. Gambar 4.3 merupakan sistem elektronika robot dimana terdapat komponen- komponen elektronika yang terdiri dari LCD, mikrokontroler, dan *driver motor*.



Gambar 4.2 Posisi Motor DC Pada Bodi Robot



Gambar 4.3 Bentuk Fisik Sistem Elektronik

4.3 Perhitungan Dengan Menggunakan Metode *Odometry*

Perhitungan ini dilakukan untuk memperkirakan posisi relatif robot. Diperlukan konstanta peubah yang mampu mengkonversi jumlah *counter* yang dihasilkan oleh sensor *rotary encoder* menjadi panjang lintasan yang ditempuh oleh robot. Konstanta ini didapat dengan menggunakan persamaan 1 yakni :

$$C = \text{Kroda} / \text{Resolusi encoder} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana diketahui keliling dari roda adalah 314 mm dan resolusi encoder untuk *rotary* kanan adalah 266 pulsa dan *rotary* kiri 240. Maka didapatkan konstanta pengubah dari masing-masing *rotary* adalah sebagai berikut

$$C_{kanan} = 314 / 266 = 1,18 \text{ pulsa/mm}$$

$$C_{kiri} = 314 / 240 = 1,31 \text{ pulsa/mm}$$

Dengan mendapatkan nilai konstanta pengubah maka dapat diketahui bahwa setiap 1 mm diperlukan pulsa sebanyak 1,18 pulsa untuk *rotary* kanan dan 1,31 pulsa untuk roda kiri.

Untuk mengetahui jarak yang di tempuh roda kanan dan roda kiri maka digunakan persamaan 2 dan 3 yakni :

$$\text{left_enc} = \text{counter_left} * 1,31 \dots\dots (2)$$

$$\text{right_enc} = \text{counter_right} * 1,18 \dots\dots (3)$$

keterangan :

counter_left = nilai bacaan dari rotary kiri

counter_right = nilai bacaan dari rotary kanan

Sedangkan untuk memperoleh jarak tempuh dari robot menggunakan persamaan 2.5 yakni :

$$\text{distance} = (\text{left_enc} + \text{right_enc}) / 2 \dots\dots\dots (4)$$

4.4 Pengujian Besarnya PWM terhadap Jarak Yang Dicapai

Pengujian ini dilakukan dengan menggerakkan robot menuju tujuan yang berjarak 60 cm kemudian diberikan nilai PWM yang berbeda. Pemberian nilai PWM yang bervariasi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat kesalahan yang terjadi pada jarak tujuan tersebut. Jarak tempuh hasil perhitungan *odometry* akan dibandingkan dengan jarak yang diukur menggunakan alat ukur. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengaruh nilai PWM

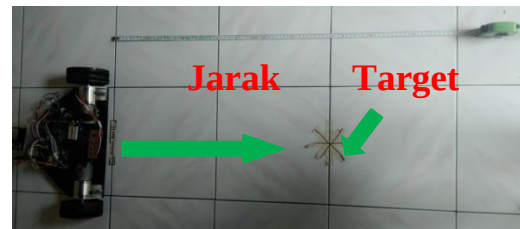
PWM	Jumlah Konter		Jarak Acuan cm	Jarak Baca Sensor cm	Jarak Yang Diukur cm	error %
	Kanan	Kiri				
50	580,3	470,82	60	52,56	53	0,84
75	710	567,58	60	63,88	62,5	2,21
100	783,3	640,74	60	71,21	68	4,71
125	868,5	683,22	60	77,59	73	6,28
150	827,83	928,7	60	82,78	76	8,93

Dari tabel diatas diketahui bahwa besar kecilnya nilai PWM sangat berpengaruh pada tingkat presisi jarak tujuan yang akan dicapai. Berdasarkan pada tabel 4.1 didapatkan bahwa semakin besar PWM yang diberikan maka tingkat kesalahan pun semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin besar PWM yang diberikan maka gaya dorong yang terjadi pada saat robot berhenti pun semakin besar. Hal ini menyebabkan robot sulit untuk berhenti tepat pada jarak yang ditentukan. Diperlukan sistem pengereman yang baik untuk dapat mengatasi kekurangan ini. Solusi tercepat adalah dengan memilih PWM yang kecil, dibawah 100.

4.5 Pengujian Rotary Encoder

Pengujian *rotary encoder* dilakukan dengan menggerakkan robot pada jarak 30 sampai dengan 150 cm (dengan asumsi perbedaan jarak kelipatan 30 cm).

Untuk melihat data dari *rotary* maka robot dijalankan secara otomatis dengan PWM pada motor kiri 80 dan kanan 75 (perbedaan nilai PWM ini agar robot dapat berjalan lurus) dan konstanta pengubah yang diberikan pada *rotary* kiri dan kanan berbeda yakni 1,18 pada *rotary* kanan dan 1,31 pada *rotary* kiri. Robot akan berjalan maju dan *rotary* akan menghitung jarak yang telah ditempuh. Saat robot berhenti pada jarak yang telah ditentukan maka bisa dilakukan perhitungan untuk mendapatkan jarak tempuh. Skenario percobaan dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Pengujian Rotary Encoder

Dengan mengetahui diameter roda 10,5 cm maka didapatkan keliling roda 314 mm dan resolusi *encoder* dari kedua *rotary* adalah 240 pulsa per rotasi (ppr) untuk *rotary* kiri dan 266 ppr untuk *rotary* kanan. Dengan menggunakan persamaan 1 maka jarak pulsa/mm adalah 1,18 pulsa/mm untuk *rotary* kiri dan 1,31 pulsa/mm untuk *rotary* kanan. Hasil pengujian *rotary encoder* dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian Rotary Encoder

Jumlah Konter		Jarak Acuan cm	Jarak Baca Sensor cm	Jarak Yang Diukur cm	error %
Kanan	Kiri				
313	247,8	30	28,05	27,5	1,98
710	567,58	60	63,88	62,5	2,21
1059	844,88	90	95,23	94	1,31
1385	1119,82	120	125,29	125	0,23
1710	1398,3	150	155,45	155	0,29

Dari tabel diatas diperoleh pulsa dari kedua *rotary* berbeda, ketidaksesuaian jumlah pulsa ini disebabkan oleh permukaan lintasan dan getaran

saat robot bergerak dan juga perbedaan karakteristik motor yang menyebabkan gaya dorong dari kedua motor tersebut berbeda. Selain itu ukuran dari roda yang digunakan juga tidak sama persis sehingga berpengaruh pada jarak target yang akan dicapai.

4.6 Pengujian Posisi Koordinat Akhir Robot

Pengujian posisi koordinat akhir robot dilakukan untuk mengetahui ketepatan capaian robot berdasarkan koordinat yang diberikan atau dengan kata lain pengujian ini bermaksud agar kita secara lebih rinci mengetahui kesesuaian antara perintah yang diberikan dan hasil yang dicapai robot tersebut. Pada pengujian ini robot mula-mula diletakan pada posisi koordinat (0,0) dengan posisi robot searah sumbu Y. Kemudian robot akan diberikan koordinat baru sebagai kondisi akhir dari robot tersebut. Secara umum seluruh lintasan robot dibagi menjadi 4 kuadran yakni kuadran 1, 2, 3 dan 4, namun dalam penelitian ini masih menggunakan kuadran 1 sebagai lintasan yang akan menjadi posisi koordinat akhir robot. Hasil dari kondisi akhir pada robot yang telah mencapai tujuan, LCD akan menampilkan nilai jarak yang dibaca dari perhitungan program kemudian akan dibandingkan dengan jarak yang diukur menggunakan alat ukur (meteran). Pada pengujian ini di bedakan menjadi 3 yaitu pengujian terhadap sumbu X, pengujian terhadap sumbu Y, dan pengujian terhadap sumbu X,Y.

4.6.1. Pengujian terhadap sumbu X

Pengujian ini dilakukan sebanyak 5 kali pengulang dengan posisi akhir robot pada koordinat (60,0). Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Terhadap Sumbu X

Hasil Pengukuran		Hasil Perhitungan Odometri		Error		Ket
X (cm)	Y(cm)	X (cm)	Y (cm)	X (%)	Y (%)	
63	0	63,15	0	0,23	0,00	0
63	0	63,47	0	0,74	0,00	0
62,5	0	63,63	0	1,81	0,00	1
63,5	0	64,11	0	0,96	0,00	0
63	0	63,97	0	1,53	0,00	1
Rata-Rata Error				1,43	0,00	

Keterangan : 0 = Lurus, 1 = Kanan, 2 =Kiri

Pada pengujian ini terdapat beberapa posisi robot saat mencapai tujuan akhir. Dari pengamatan terlihat bahwa salah satu roda pada robot lebih cepat berputar ditambah dengan adanya getaran yang terjadi saat robot menuju posisi akhir yang ditentukan menyebabkan

terjadinya kesalahan antara perhitungan odometry dan hasil pengukuran.

Untuk selajutnya perlu penyesuaian dalam penentuan dalam penentuan konstanta pengubah pada masing-masing *rotary* yang sehingga hasil yang didapat bisa sesuai dengan target yang diberikan.

4.6.2. Pengujian terhadap sumbu Y

Pengujian ini dilakukan sebanyak 5 kali pengulang dengan posisi akhir robot pada koordinat (0,60). Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Terhadap Sumbu Y

Hasil Pengukuran		Hasil Perhitungan Odometri		Error		Ket
X (cm)	Y(cm)	X (cm)	Y (cm)	X (%)	Y (%)	
0	64	0	64,438	0,00	0,68	0
0	63	0	64,038	0,00	1,65	1
0	63,5	0	64,34	0,00	1,32	1
0	63	0	63,835	0,00	1,33	1
0	63	0	64,084	0,00	1,72	1
Rata-Rata Error				0,00	1,46	

Keterangan : 0 = Lurus, 1 = Kanan, 2 =Kiri

Dari tabel 4.4 didapatkan bahwa robot dapat mencapai posisi koordinat akhir yang diinginkan. Pada pengujian ini roda kanan pada robot setelah mencapai posisi koordinat akhir cenderung lebih cepat dibandingkan roda kiri, sehingga pada saat robot berhenti gaya dorong dari roda kanan lebih besar dibandingkan dengan roda kiri. Inilah penyebab posisi akhir tidak sama persis dengan target yang diberikan

4.6.3. Pengujian terhadap sumbu X,Y

Pengujian ini dilakukan terhadap 2 target kemudian diulang sebanyak 3 kali dengan posisi akhir robot pada koordinat (60,30), (120,60). Hasil pengujian masing-masing target dapat dilihat pada tabel 4.5. Dari tabel tersebut didapatkan bahwa robot dapat mencapai posisi akhir dari titik koordinat yang ditentukan. Tingkat kesalahan yang terjadi penyebabnya hal yang sama dengan pengujian sebelumnya yaitu perbedaan karakteristik motor, permukaan lintasan yang tidak rata, ukuran roda yang tidak presisi dan juga sistem ini belum menerapkan sistem pengereman. Untuk itu diperlukan penelitian lanjutan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari sebelumnya.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Terhadap Sumbu X,Y

Hasil Pengukuran		Hasil Perhitungan Odometri		Error		Ket
X (cm)	Y(cm)	X (cm)	Y (cm)	X (%)	Y (%)	
65	34	65,23	35,23	0,65	3,62	1
65	33,5	64,36	34,36	1,87	2,56	1
62	31	60,00	30,00	3,22	3,22	1
Rata-Rata Error				1,91	3,13	
125	72	126,62	70,62	1,30	1,92	1
129	74	126,80	70,80	1,70	4,32	1
129	70	126,17	70,17	2,19	0,24	0
Rata-Rata Error				1,73	2,16	

Keterangan : 0 = Lurus, 1 = Kanan, 2 =Kiri

5. Kesimpulan

Dari pengujian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Secara umum robot dapat bernavigasi dengan lebih leluasa bila menggunakan sistem odometri.
2. Konstanta pengubah sangat menentukan keakuratan robot dalam bernavigasi dengan metode odometri untuk mencapai titik akhir koordinat yang diberikan.
3. Getaran pada robot dan permukaan lintasan sangat mempengaruhi pembacaan jumlah pulsa pada *rotary encoder* sehingga mempengaruhi juga hasil dari perhitungan *odometry* pada robot.

Daftar Pustaka

BS, Marta, dkk, 2013, *Path Tracking Pada Mobile Robot Dengan Umpan Balik Odometry*.

Datasheet Arduino Mega2560, <http://www.robotshop.com>, diakses Maret 2018

Datasheet BTS 7960, <http://www.infineon.com>, diakses Januari 2018

Datasheet Rotary Encoder, <http://www.omron.com>, diakses Februari 2018

Hakim, Lukman. 2013. *Implementasi Perhitungan Posisi Robot Dengan FPGA Menggunakan Rotary Encoder*. Surabaya: Skripsi Jurusan Teknologi Industri ITS

Heryanto, M. Ary, dkk, 2008, *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMEGA8535*, Penerbit Andi, Yogyakarta.

Kadir, A. (2015). *Buku Pintar Pemograman Arduino*. Yogyakarta.

Kadir, Abdul, 1995, *Pemrograman C++*, PenerbitAndi, Yogyakarta. MediaKom.7-9

Primadi, Adrian, 2010, *Unjuk Kerja Robot Wall follower dengan Menggunakan Sensor Ultrasonik*, FMIPA Universitas Pendidikan Indonesia, Jakarta.

Rizqiawan, Arwindra. 2009. *Sekilas Rotary Encoder*. <https://konversi.wordpress.com/2009/06/12/sekilas-rotary-encoder/>, diakses Februari 2016

Sudibyo, Rahardhita Widyatra. 2012. *Pemetaan Posisi Dan Sistem Navigasi Mobile Robot Dalam Ruang Menggunakan Sensor Perpindahan Jenis Optical Laser*. Surabaya: Skripsi Jurusan Teknik Elektro FT-PENS

Suyadhi, Taufiq Dwi Septian, 2010, *Buku Pintar Robotika*, Penerbit Andi, Yogyakarta.

T, Albarri, 2016, *Rancang Bangun Sistem Navigasi Berbasis Odometry Menggunakan Sensor Rotary Encoder Absolute*. Bandung: Skripsi Jurusan Teknologi Elektro. Universitas Islam Negeri Bandung.