

Robot dengan Kemampuan Menghindari Halangan Menggunakan Metode *Circular Motion*

Kusnendar Trianto R.¹, Indra Agustian K.², M. Saepurrohman³, Anis Azizah⁴

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : kusnendar.trianto.tecs13@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : indraagstn@gmail.com

³Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 4001

E-mail : muhsrohman@gmail.com

⁴Jurusan Akuntansi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : anis.azizah.ksy13@polban.ac.id

ABSTRAK

Tulisan ini membahas tentang metode pola gerak *circular motion* untuk *mobile robot* dengan jenis *nonholomic* agar dapat bergerak menghindari halangan. Pergerakan *nonholomic mobile robot* yang terbatas hanya bergerak dengan arah maju dan mundur, dapat diprediksi arah gerak serta panjang lintasannya berdasarkan kecepatan kedua roda. Informasi-informasi sensorik berupa jarak benda disekitar *mobile robot* diolah dengan logika formal sederhana oleh *master control*, dapat menghasilkan arah gerak dan sudut gerak. Parameter itulah yang diolah oleh persamaan *circular motion* untuk mendapatkan *setpoint* nilai kecepatan setiap roda atau panjang lintasan setiap roda. Nilai *setpoint* tersebut lalu dieksekusi oleh setiap *Local Control Unit* (LCU). Pembagian tugas antara *master control* dan LCU bertujuan untuk mengurangi jumlah intruksi yang harus dilakukan sehingga gerak roda lebih terkoordinasi agar sesuai dengan nilai hasil perhitungan *circular motion*. Hasilnya dengan menerapkan Sistem kendali terkoordinasi berbasis kecepatan, robot bergerak dengan rata-rata persentase keberhasilan menghindari halangan sebesar 93,91% sedangkan dengan menerapkan sistem kendali berbasis posisi, rata-rata nilai persentase keberhasilannya adalah 94,36%.

Kata Kunci:

Mobile robot, circular motion, master control, LCU, setpoint

1. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia robotika memiliki unsur yang sedikit berbeda dengan ilmu-ilmu dasar atau terapan lainnya. Ilmu dasar biasanya berkembang dari suatu asas atau hipotesa yang kemudian diteliti secara metodis, sedangkan ilmu robotika lebih sering berkembang melalui pendekatan praktis. Kemudian melalui pendekatan atau asumsi dari hasil pengamatan perilaku makhluk hidup atau peralatan bergerak lainnya dikembangkanlah penelitian secara teoritis. *Mobile robot* merupakan suatu tipe robot bergerak, baik menggunakan tangan, kaki atau roda. Dalam pengembangannya *mobile robot* banyak digunakan dalam dunia industri maupun bidang riset dan teknologi. *Wheeled mobile robot* (WMR) beroda merupakan jenis robot yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena kecepatannya dalam melintasi bidang yang rata serta kemudahan dalam desain dan implementasi.

Permasalahan yang muncul dalam perancangan sebuah *mobile robot* dalam hal ini robot beroda adalah lingkungan yang menjadi lintasan *mobile robot* yang dinamis sehingga tidak dapat ditentukan. Lingkungan ini berisi objek-objek yang menjadi halangan dari *mobile robot* untuk bergerak. Gerakan *mobile robot* dapat diasumsikan seperti gerakan seorang pengendara yang menggunakan indra penglihatannya untuk menentukan arah gerak, dengan demikian *mobile robot* dapat bergerak menghindari halangan yang ada disekitar *mobile robot* tersebut. Ketika menentukan arah

berdasarkan sensor-sensornya perlu diterapkan sebuah metode pola gerak agar setiap gerakannya terukur dan dapat diprediksi, Metode pola gerak yang digunakan adalah metode *circular motion*, dimana setiap gerakan *mobile robot* didasari oleh *circular motion* (gerak melingkar) baik itu ketika hendak bergerak lurus maupun ketika hendak berbelok.

Hasil dari proses perhitungan metode *circular motion* ini dapat berupa kecepatan kedua roda maupun panjang lintasan setiap roda. Hasil tersebut selanjutnya menjadi nilai *setpoint* untuk diolah oleh *Local Control Unit* (LCU) sebagai *controller* setiap roda. Hasil berupa kecepatan kedua roda dieksekusi oleh LCU dengan menerapkan sistem kendali kecepatan, sedangkan jika hasil perhitungan *circular motion* yang digunakan adalah panjang lintasan, maka sistem kendali yang digunakan adalah sistem kendali posisi.

Oleh sebab itu, perlu dirancang sebuah *mobile robot* yang menggabungkan algoritma dalam melihat kondisi sekitar dengan algoritma *circular motion*, dengan menerapkan sistem kendali terkoordinasi agar tercipta sebuah *mobile robot* yang dapat bergerak dengan bebas tanpa menabrak halangan disekitar *mobile robot* tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Saat ini hampir tidak ada orang yang tidak mengenal robot, namun pengertian robot tidaklah dipahami secara sama oleh setiap orang. Pada kamus webster pengertian robot adalah sebuah alat otomatis yang melakukan melakukan fungsi berdasarkan kebutuhan manusia. Pada kamus Oxford diperoleh pengertian robot adalah sebuah mesin yang mampu melakukan serangkaian tugas rumit secara otomatis terutama yang diprogram oleh komputer. *International Organization for Standardization (ISO 8373)* mendefinisikan robot sebagai sebuah manipulator yang terkendali, multi fungsi, dan mampu diprogram untuk bergerak dalam tiga aksis atau lebih, yang tetap berada di tempat atau bergerak untuk digunakan dalam aplikasi otomasi industri [[HYPERLINK \l "Seu12" 1](#)].

Salah satu jenis sistem kemudi *mobile robot* yang umum digunakan, terutama untuk dioperasikan dalam ruangan adalah *mobile robot* dengan sistem penggerak *differential drive* [2]. Secara teknis, sistem *differential drive* disusun oleh dua roda utama serta ditambah dengan sebuah roda bebas sebagai penopang agar robot tetap seimbang. Jika kedua roda penggerak tersebut berputar dengan kecepatan yang sama, maka robot tersebut akan bergerak dengan arah lurus, sedangkan jika kecepatan salah satu roda lebih lambat maka robot akan bergerak membentuk kurva dengan arah lintasan menuju salah satu roda yang bergerak lebih lambat [[HYPERLINK \l "Kar" 2](#)]. Berdasarkan karakteristik tersebut, maka kita dapat mengetahui posisi pergerakan robot berdasarkan kecepatan angular roda-rodanya, yang biasa disebut kinematik [2]. Kinematik pada robot bertujuan untuk memprediksi posisi dan memprediksi gerak robot [[HYPERLINK \l "DrC07" 3](#)].

Selain mengenai pola gerak, terdapat penelitian yang terkait dengan masalah menentukan arah lintasan *mobile robot*, seperti Dan [4] dan Hachour [[HYPERLINK \l "Hac" 5](#)] yang melakukan penelitian tentang teknik penentuan lintasan, baik untuk menentukan lintasan bergeraknya atau untuk menghindari halangan. Kumar [6] membahas secara khusus cara untuk menghindari halangan, serta Lin dan Yang [[HYPERLINK \l "Lin" 7](#)] yang membahas teknik pengendalian lintasan dengan mengendalikan kecepatan.

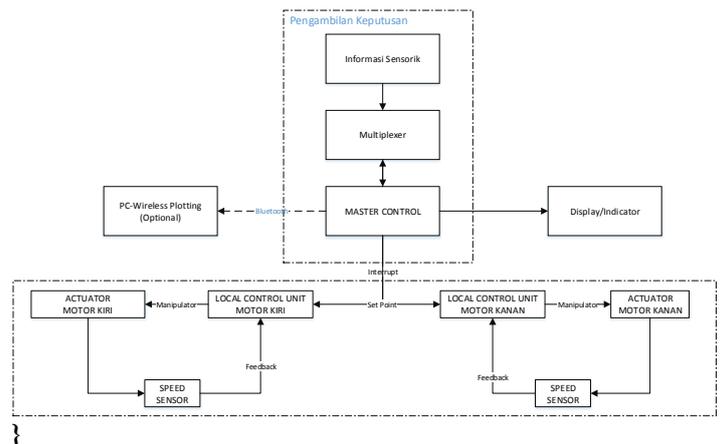
Salah satu tugas yang penting dari *autonomous mobile robot* adalah mendapatkan informasi mengenai lingkungan sekitar *mobile robot* tersebut [8]. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengukur nilai-nilai menggunakan sensor sensor yang bervariasi kemudian data-data hasil pengukuran tersebut diolah menjadi informasi yang sangat berguna untuk *mobile robot* [[HYPERLINK \l "Sie04" 8](#)]. Beberapa sensor dapat digunakan untuk mengukur parameter didalam *mobile robot* itu sendiri seperti temperatur dari sistem elektronik robot, maupun mengukur kecepatan rotasi pada motor penggerak [8]. Selain itu, sensor yang lebih canggih dapat digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai lingkungan sekitar *mobile robot* atau bahkan mengukur posisi *mobile robot* secara global [[HYPERLINK \l "Sie04" 8](#)]. Hasil

pembacaan lingkungan *mobile robot* tersebut dapat digunakan sebagai informasi penting yang dapat membantu dalam proses penentuan arah gerak robot.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam memecahkan masalah yaitu dengan metode *quantitatif experimental*, yaitu dengan melakukan pengambilan data berdasarkan hasil uji coba sistem. Selanjutnya data tersebut diolah dan didapat kesimpulan berdasarkan hasil analisis tersebut. Oleh sebab itu, berikut ini adalah penjelasan sistem secara keseluruhan :

3.1. Blok Diagram Sistem



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Prinsip kerja sistem ini dimulai ketika robot dinyalakan, kemudian robot akan dalam kondisi diam. Selanjutnya mode masuk pada menu untuk memilih jenis sistem kendali yang akan digunakan, lalu akan masuk pada mode stand by hingga tombol untuk menyalakan fitur otomatis ditekan. Setelah tombol tersebut ditekan, maka robot akan bergerak secara bebas dan menghindari objek yang menghalangi gerakan robot tersebut. Gambar 1 diatas merupakan diagram blok dari sistem *mobile robot* yang digunakan sebagai objek penelitian.

Master control yang merupakan arduino Mega berfungsi untuk mengolah hasil pembacaan sensor-sensor jarak pada *mobile robot*. Hasil olahan tersebut berupa kecepatan motor atau panjang lintasan yang kemudian akan dikirim ke setiap LCU. Sambungan antara sensor jarak dan Master control diatur oleh multiplexer 16 chanel. Penggunaan multiplexer ini bertujuan untuk mengurangi jumlah pin Master yang harus digunakan. Normalnya, 1 buah sensor jarak memerlukan 2 pin I/O sehingga apabila menggunakan 8 buah sensor maka diperlukan 16 pin I/O. Berbeda halnya dengan menggunakan Multiplexer 16 Chanel, maka hanya memerlukan 5 pin I/O dengan rincian 1 buah pin data dan 4 buah pin untuk mengatur alamat chanel yang akan terhubung.

Master control dilengkapi dengan LCD dan LED sebagai indikator setiap sensor jarak. Selain itu, *Master control* juga

dapat mengirimkan data setiap sensor ke PC menggunakan bantuan *bluetooth*.

LCU pada robot berfungsi sebagai controller untuk mengatur sistem kendali kecepatan atau sistem kendali posisi pada setiap roda. Setiap roda memiliki masing-masing 1 buah LCU yang nilai setpoint dikoordinasikan oleh *Master control*.

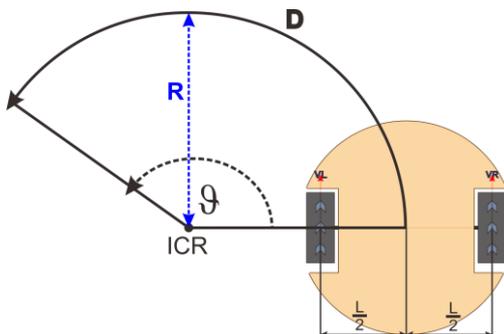
3.2. Spesifikasi Sistem

Spesifikasi sistem yang dimiliki oleh sistem yang digunakan sebagai objek penelitian tersaji dalam tabel 1 berikut ini :

Tabel 1 Spesifikasi Objek Penelitian

➤ Teknologi	: Arduino Mega + Arduino Nano
➤ Power Supply	: LiPO 11.1V 1100mAh
➤ Driver Motor	: Monster Moto Shield Vnh2SP30
➤ Display	: LCD Display 16*2 Hijau
➤ Encoder	: Quadroute Encoder 20 hole
➤ Motor DC	: 2x Low Torque Motor DC
➤ Communication	: Bluetooth HC05
➤ Dimensi	: Acrylic 20x20x20 cm
➤ Voltage Regulator	: 5V Regulator Up to 5A 9V Regulator Up to 5A 3.3V Regulator
➤ Fuse	: 1 A Fuse 250V
➤ Jari-jari roda	: 3.3 Cm

3.3. Circular Motion



Gambar 2 Dasar Pola Gerak *Circular Motion*

Gambar 2 menunjukkan dasar dari metode *circular motion*. Perbedaan kecepatan kedua roda menjadikan bentuk lintasan berupa lingkaran. Parameter-parameter dalam persamaan *circular motion* adalah sebagai berikut :

R = Radius lintasan gerak melingkar (Cm)
ICR= *Instantaneous Center of Rotation*

D = Panjang lintasan (Cm)
φ = Sudut gerak melingkar (°)
V_L = Kecepatan roda kiri (Cm/s)
V_R = Kecepatan roda kanan (Cm/s)
L = Jarak antar titik tengah kedua roda (Cm)

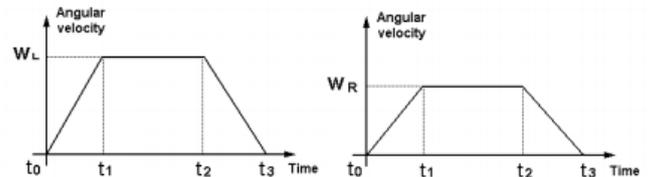
Parameter ICR merupakan posisi titik pusat *circular motion* [9]. Parameter ini akan menghasilkan parameter R yang kemudian menentukan nilai perbandingan kecepatan sudut dari roda kanan dan roda kiri. Dapat diketahui, sebuah WMR dengan sistem *Differential Drive* akan belok kanan ketika kecepatan roda Kiri lebih cepat daripada kecepatan roda kanan dan berlaku sebaliknya. Persamaan yang berlaku dalam ICR [9] adalah :

$$\frac{V_r - V_l}{L} = \frac{V_r}{R + \frac{L}{2}} \quad (1)$$

$$R = \frac{L}{2} * \frac{V_r + V_l}{V_r - V_l} \quad (2)$$

$$R = \frac{L}{2} * \frac{V_r + V_l}{V_r - V_l} = \frac{L}{2} * \frac{\omega_r + \omega_l}{\omega_r - \omega_l} \quad (3)$$

Kecepatan roda pada *mobile robot* diasumsikan berbentuk trapesium [9] seperti pada gambar 3. Hal tersebut disebabkan oleh sifat alamiah suatu sistem yang tidak akan langsung mencapai kecepatan maksimum atau kecepatan yang ditentukan oleh suatu sistem, serta adanya proses deselerasi yang dipengaruhi oleh adanya momen inersia pada roda. Secara umum, kecepatan roda kiri dan kanan sebuah WMR memiliki profil respon kecepatan sebagai berikut :



Gambar 3 Profil kecepatan putaran roda [9]

Tujuan dari mengasumsikan profil kecepatan roda adalah untuk dapat mengukur parameter panjang lintasan dengan koefisien D, dimana panjang lintasan setiap roda adalah integral dari kecepatan setiap roda, atau juga merupakan luas dari profil kecepatan yang berbentuk trapesium tersebut [9]. Sehingga persamaan yang berlaku [9] adalah :

$$D = \int \frac{V_r + V_l}{2} dt = \frac{1}{2} r \frac{\omega_r + \omega_l}{2} (t_3 - t_0 + t_2 - t_1) \quad (4)$$

$$\phi = \frac{D}{R} = \frac{r}{2L} (\omega_r - \omega_l) (t_3 - t_0 + t_2 - t_1) \quad (5)$$

Pada persamaan 5, nilai φ adalah sudut gerak melingkar dalam satuan Radian.

Selanjutnya berdasarkan persamaan *circular motion* yang telah dibahas, maka akan membahas beberapa parameter agar persamaan tersebut dapat direalisasikan kedalam

algoritma gerak WMR. Beberapa persamaan harus diubah menjadi bentuk persamaan lainnya agar dapat dipergunakan dalam sistem, yang mana hasil proses pengambilan keputusan berdasarkan hasil informasi sensorik berupa arah gerak, sudut, serta radius putaran, sehingga :

a. Ketentuan parameter R

Parameter R ini berfungsi untuk menentukan perbandingan kecepatan kedua roda. Semakin besar nilai R, maka semakin kecil perbandingan kedua roda. Beberapa ketentuan yang berlaku pada parameter R ini adalah :

- Ketika R bernilai tak hingga, kecepatan kedua roda adalah sama, sehingga WMR bergerak membentuk garis lurus.
- Ketika R=0, Kecepatan roda saling terbalik sehingga WMR berputar ditempat selama waktu t dengan kecepatan v.
- Ketika $-\infty < R < \infty$ dan $R \neq 0$ maka robot akan bergerak membentuk lingkaran dengan jari-jari sebesar R terhadap titik pusat ICR.

b. Hubungan parameter R dan Parameter ω

Nilai perbandingan kecepatan kedua roda dapat diketahui dengan menentukan parameter R terlebih dahulu. Sebagai contoh, ketika hendak belok kiri, persamaan yang berlaku adalah :

$$R = \frac{l}{2} * \frac{\omega r + \omega l}{\omega r - \omega l} \quad (6)$$

Sehingga :

$$\omega r = \left(\frac{2R+l}{2R-l} \right) \omega l \quad (7)$$

Atau

$$\omega l = \frac{\omega r}{\left(\frac{2R+l}{2R-l} \right)} \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan diatas, dapat diketahui ketika hendak belok kiri maka kecepatan roda Kanan lebih cepat dibandingkan kecepatan roda Kiri.

c. Parameter Waktu

Berdasarkan persamaan 4 dan 5, Parameter waktu dengan koefisien t ditentukan terlebih dahulu sehingga kecepatan roda dipaksa berputar agar posisi yang diharapkan tercapai. Akan tetapi dikarenakan roda memiliki keterbatasan hanya dapat bergerak maksimal 29 Rad/s, maka persamaannya dibalik sehingga kita tentukan sudut dan kecepatan roda terlebih dahulu agar mendapat nilai koefisien t yang merupakan waktu tempuh. Persamaan yang berlaku adalah :

$$\frac{\theta \cdot 2\pi \cdot R}{360} = \left(\frac{l}{2} \right) r \left(\frac{\omega l + \omega r}{2} \right) \frac{3}{2} t \quad (9)$$

$$t = \frac{\theta \cdot 8\pi \cdot R}{360 \cdot r \cdot (\omega l + \omega r)} \quad (10)$$

dengan ditentukannya nilai parameter kecepatan, maka nilai parameter waktu yang akan menyesuaikan sesuai parameter diatas, sehingga persamaan *circular motion* tersebut dapat direalisasikan dalam WMR yang digunakan.

Persamaan 9 dan 10 berlaku untuk kondisi ketika $-\infty < R < \infty$ dan $R \neq 0$ atau ketika robot bergerak membentuk lingkaran dengan jari-jari sebesar terhadap titik pusat ICR. Ketika panjang lintasan D dengan bentuk lintasan membentuk garis lurus, maka nilai D adalah panjang garis lurus tersebut, sehingga persamaan yang berlaku adalah :

$$t = \frac{8D}{3 \cdot r \cdot (\omega l + \omega r)} \quad (11)$$

Selanjutnya untuk kondisi ketika R=0, atau kondisi dimana robot berputar ditempat, persamaan yang berlaku adalah :

$$t = \left| \frac{\theta \cdot 8\pi \cdot \frac{l}{2}}{1080 \cdot r \cdot \omega l} \right| \quad (12)$$

Atau

$$t = \left| \frac{\theta \cdot 8\pi \cdot \frac{l}{2}}{1080 \cdot r \cdot \omega r} \right| \quad (13)$$

d. Panjang lintasan setiap roda

Panjang lintasan setiap roda diperlukan untuk menerapkan metode *circular motion* dengan sistem kendali berbasis kecepatan. Nilai panjang lintasan setiap roda (Dr dan Dl) inilah yang selanjutnya akan menjadi nilai setpoint yang akan dieksekusi oleh LCU di setiap roda. Mencari nilai Dr dan Dl dapat menggunakan persamaan :

$$Dr = \frac{\theta \cdot 2\pi \cdot (R + \frac{l}{2})}{360} \quad (14)$$

$$Dl = \frac{\theta \cdot 2\pi \cdot (R - \frac{l}{2})}{360} \quad (15)$$

Nilai $(R + \frac{l}{2})$ dan $(R - \frac{l}{2})$ bersifat *flexibel* tergantung pada arah belokan yang diintruksikan. Persamaan 14 dan 15 diatas berlaku untuk kondisi ketika akan belok ke arah kuadran 2 dan atau kuadran 3, dengan ketentuan $Dl > D > Dr$. Untuk belok ke arah kuadran 1 dan atau kuadran 4 maka ketentuan yang berlaku adalah $Dl < D < Dr$. Ketentuan tersebut berlaku untuk kondisi ketika hendak berbelok dan berputar di tempat. Berbeda dengan kondisi ketika akan bergerak lurus, maka ketentuan yang berlaku adalah $Dl = D = Dr$, sehingga untuk bergerak lurus, nilai panjang lintasan setiap roda adalah nilai garis lurus tersebut (D).

3.4. Perancangan Sistem Kendali

Kehandalan sistem kendali berperan penting dalam mengeksekusi hasil perhitungan metode *circular motion*. Apabila kedua roda tidak dapat dikoordinasikan dengan baik, maka arah gerak WMR tidak akan sesuai dengan hasil

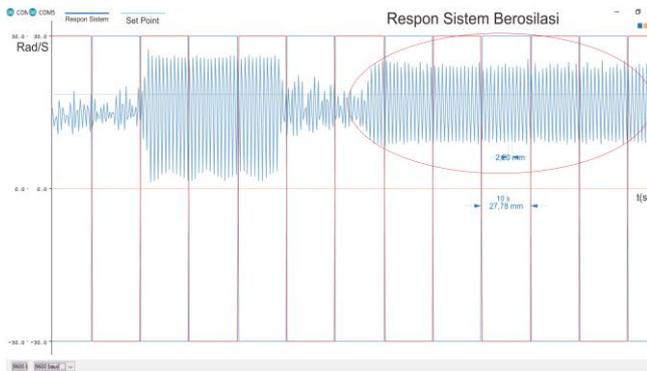
proses perhitungan metode *circular motion*. Berikut ini adalah proses perancangan sistem kendali pada setiap roda.

a. Perancangan sistem kendali kecepatan

Sistem kendali kecepatan yang digunakan adalah sistem kendali *Proporsional Integral* (PI) bukan sistem kendali *Proporsional Integral Derivatif* (PID). Alasan penggunaan sistem kendali PI adalah karena sinyal umpan balik kecepatan motor rentan terhadap noise akibat getaran pada motor. Sehingga konstanta *Derivativ* (D) dibuat 0 untuk mengurangi kereaktifan sistem kendali.

Sistem kendali kecepatan setiap roda harus memiliki karakteristik respon yang relatif sama. Karakteristik respon sama bukan berarti nilai parameter kendalinya sama. Sehingga setiap roda harus dilakukan proses desain yang terpisah. Proses perancangan sistem kendali yang digunakan adalah menggunakan metode ZN2, dimana respon sistem dibuat berosilasi dengan mengatur nilai *Kcr*, selanjutnya berdasarkan respon osilasi tersebut dicari nilai *Pcr*. Berikut ini proses perancangan sistem kendali kecepatan :

• Perancangan sistem kendali kecepatan roda kiri



Gambar 4 Respon sistem roda kiri berosilasi dengan *Kcr*=15

Berdasarkan gambar 4, maka proses perhitungan parameter kendali adalah sebagai berikut :

- Menghitung nilai *Pcr*
Berdasarkan garis bantu pada gambar, diketahui $10s=27,78mm$ maka $1s=2,778mm$. Sehingga :

$$P_{cr} = \frac{2,2 \text{ mm}}{2,778 \text{ mm}}$$

$$P_{cr} = 0,79$$

- Menghitung nilai *Kp*
 $K_p = 0,45 * K_{cr}$ (16)
 $K_p = 0,45 * 15$
 $K_p = 6,7$

- Menghitung nilai *Ti* dan *Ki*
 $T_i = \frac{1}{1,2} * P_{cr}$ (17)

$$T_i = \frac{1}{1,2} * 0,79$$

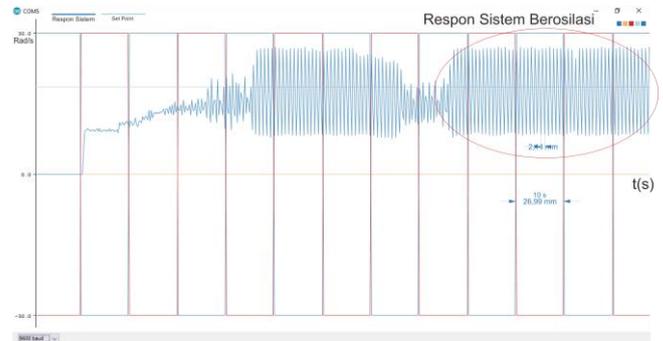
$$T_i = 0,66$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

$$K_i = \frac{6,7}{0,66}$$

$$K_i = 10,15$$
(18)

• Perancangan sistem kendali kecepatan roda kanan



Gambar 5 Respon sistem roda kanan berosilasi dengan *Kcr*=15

Berdasarkan gambar 5, maka proses perhitungan parameter kendali adalah sebagai berikut :

- Menghitung nilai *Pcr*
Berdasarkan garis bantu pada gambar, diketahui $10s=26,99mm$ maka $1s=2,699mm$. Sehingga :

$$P_{cr} = \frac{2,14 \text{ mm}}{2,699 \text{ mm}}$$

$$P_{cr} = 0,79$$

- Menghitung nilai *Kp*
 $K_p = 0,45 * 15$
 $K_p = 6,7$

- Menghitung nilai *Ti* dan *Ki*

$$T_i = \frac{1}{1,2} * 0,79$$

$$T_i = 0,66$$

$$K_i = \frac{6,7}{0,66}$$

$$K_i = 10,15$$

- Pengujian sistem kendali kecepatan

Pengujian stem kendali kecepatan dilakukan dengan cara melihat respon kecepatan kedua roda secara bersamaan. Apabila terdapat perbedaan respon yang signifikan, maka salah satu roda harus disesuaikan parameternya. Berikut ini respon sistem kendali kecepatan kedua roda.



Gambar 6 Respon sistem kendali kecepatan kedua roda

Berdasarkan gambar 6, respon sistem kendali kecepatan roda kiri dan kanan sudah dapat dianggap sama, sehingga tidak perlu dilakukan *tuning* parameter PID.

b. Perancangan sistem kendali posisi

Sistem kendali posisi yang digunakan adalah sistem kendali *Proporsional* (P). Adanya Konstanta *Integral* (Ki) dan Konstanta *Derivativ* (Kd) dapat mempengaruhi kecepatan suatu sistem dalam mencapai *setpoint*. Oleh sebab itu, agar nilai perbandingan kedua roda tetap sama sesuai dengan hasil perhitungan metode *circular motion* maka konstanta yang digunakan hanya Konstanta *Proporsional* (Kp). Nilai Kp bergantung pada nilai ω_l dan atau ω_r , sehingga persamaan yang berlaku adalah :

$$Kp_l = \left| \frac{\omega_l}{dt} \right| \quad (19)$$

$$Kp_r = \left| \frac{\omega_r}{dr} \right| \quad (20)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan dengan membiarkan robot bergerak dalam tempat dengan batasan wilayah berupa dinding yang terbuat dari karet. Tujuan pembatasan wilayah adalah untuk mengurangi kemungkinan terdapat objek yang tidak dapat terdeteksi oleh sensor jarak.

Pengujian dilakukan dengan berbasis sistem kendali kecepatan dan sistem kendali posisi. Berikut ini hasil pengujian robot dengan kemampuan menghindari halangan menggunakan metode *circular motion* :

a. Berbasis sistem kendali kecepatan

Tabel 2. Pengujian dengan *circular motion* berbasis kecepatan

No.	Waktu Percobaan	Hasil			Persentase		Keterangan
		Menghindar	Menabrak	Jumlah	Sukses (%)	Gagal (%)	
1	1 Menit 43 Detik	23	1	24	95,83333	4,166667	
2	2 Menit 32 Detik	67	4	71	94,3662	5,633803	
3	3 Menit 17 Detik	99	8	107	92,52336	7,476636	
4	4 Menit 27 Detik	151	10	161	93,78882	6,21118	
5	2 Menit 7 Detik	57	3	60	95	5	
6	1 Menit 13 Detik	20	1	21	95,2381	4,761905	
7	1 Menit 20 Detik	21	2	23	91,30435	8,695652	
8	3 Menit 29 Detik	120	8	128	93,75	6,25	
9	2 Menit 16 Detik	60	4	64	93,75	6,25	
10	3 Menit 19 Detik	102	7	109	93,57798	6,422018	

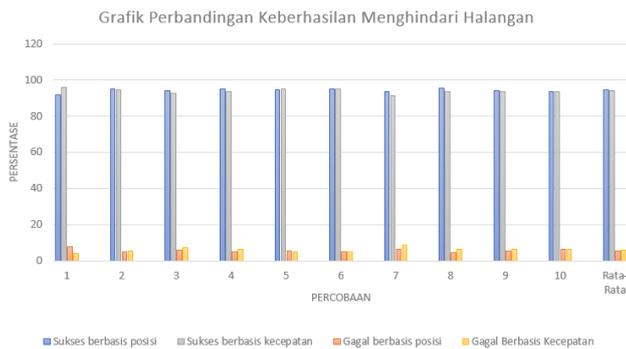
Berdasarkan data pada tabel 2, maka setelah sistem diuji, rata-rata sistem sukses menghindari halangan adalah sebesar 93,91 %, dan gagal menghindari halangan (menabrak) sebesar 6,09%.

b. Berbasis sistem kendali posisi

Tabel 3. Pengujian dengan *circular motion* berbasis posisi

No.	Waktu Percobaan	Hasil			Persentase		Keterangan
		Menghindar	Menabrak	Jumlah	Sukses (%)	Gagal (%)	
1	2 Menit 6 Detik	46	4	50	92	8	
2	2 Menit 49 Detik	79	4	83	95,18072	4,819277	
3	3 Menit 43 Detik	97	6	103	94,17476	5,825243	
4	1 Menit 9 Detik	20	1	21	95,2381	4,761905	
5	3 Menit 28 Detik	90	5	95	94,73684	5,263158	
6	4 Menit 20 Detik	120	6	126	95,2381	4,761905	
7	1 Menit 39 Detik	43	3	46	93,47826	6,521739	
8	2 Menit 57 Detik	85	4	89	95,50562	4,494382	
9	3 Menit 48 Detik	100	6	106	94,33962	5,660377	
10	1 Menit 52 Detik	45	3	48	93,75	6,25	

Berdasarkan data pada tabel 3, maka setelah sistem diuji, rata-rata sistem sukses menghindari halangan adalah sebesar 94,36 %, dan gagal menghindari halangan (menabrak) sebesar 5,64%.



Gambar 7 Grafik perbandingan keberhasilan menghindari halangan

Berdasarkan pengamatan dan hasil pengujian sistem, sistem menabrak objek dikarenakan sensor jarak yang tidak dapat mendeteksi benda karena kemiringan benda terhadap objek lebih dari 15° , sedangkan sensor ultrasonik yang digunakan hanya dapat mendeteksi benda dengan sudut kemiringan terhadap sensor maksimal sebesar 15° . Selain itu, tabrakan yang terjadi juga diakibatkan oleh keterlambatan LCU mengeksekusi setpoint dari *master control*. Sistem kendali kecepatan memerlukan waktu sampling eksekusi lebih lama dibandingkan sistem kendali posisi.. Sistem kendali kecepatan memerlukan waktu 50 ms untuk mengetahui kecepatan roda, sedangkan untuk posisi hanya memerlukan waktu 1 ms untuk mengetahui posisi saat itu. Oleh sebab itu, *circular motion* berbasis sistem kendali posisi memiliki nilai persentase menghindari halangan lebih baik daripada *circular motion* berbasis siste kendali kecepatan.

5. DISKUSI

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut, sebagai contoh mengganti algoritma pengambilan keputusan menggunakan metode lain yang lebih mumpuni, selain itu, jenis sensor yang digunakan dapat ditingkatkan kualitasnya seperti menggunakan kamera, dll. Aplikasi lanjutan dari penelitian ini yaitu dengan memasang sensor yang bersifat *global navigation* seperti sensor GPS, sehingga robot dapat bergerak dengan tujuan atau target yang ditentukan.

6. PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut :

- ✓ Penerapan sistem kendali terkoordinasi bertujuan agar kedua roda dapat bergerak sesuai dengan hasil perhitungan metode *circular motion*.
- ✓ Sistem kendali yang dapat digunakan yaitu sistem kendali kecepatan dan sistem kendali posisi.
- ✓ Robot penghindar halangan menggunakan metode *circular motion* berbasis sistem kendali posisi dapat

bergerak menghindari halangan dengan persentase keberhasilan menghindari halangan sebesar 94,36%.

- ✓ Robot penghindar halangan menggunakan metode *circular motion* berbasis sistem kendali posisi dapat bergerak menghindari halangan dengan persentase keberhasilan menghindari halangan sebesar 93,91%.

6.2. Saran

Setelah menyelesaikan penelitian ini, penulis memiliki beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yang sejenis, yaitu :

- Dalam sistem kendali kecepatan, waktu penghitungan kecepatan dapat diubah, dengan catatan semakin cepat waktu proses maka semakin tidak teliti hasil pembacaannya, dan jika ingin hasil pembacaannya lebih teliti maka diperlukan waktu yang lebih lama.
- Hasil pembacaan sensor-sensor hendaknya dikalibrasi atau dibandingkan dengan alat ukur yang telah distandarkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung atas bantuan biaya penelitian pada Program Kreativitas Mahasiswa Tahun 2016, serta Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung yang telah memfasilitasi proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Seungbin Moon, "International Standardization Activities for Robots," , Seoul, 2012.
- [2] Jusuf Dwi Kariyanto, Ali Husein Alasiry, Fernando Ardila, and Nofria Hanafi, "Navigasi Mobile Robot Berbasis Trajektori dan Odometry dengan Pemulihan Jalur Secara Otomatis," 2014.
- [3] Dr. Carlotta A. Berry, *Introduction to Mobile Robotics - Locomotion & Kinematics.*: Rose-Hulman Institute of Technology, 2007.
- [4] P.K. Dan, "Obstacle avoidance method for a mobile robot," vol. 14 (4), 2009.
- [5] O. Hachour, "Path Planning of Autonomous mobile robot," 2013.
- [6] P Jindal Kumar, Jindal A P, and Chhabra S, "A Robust Algorithm for Local Obstacle Avoidance," vol. 2(3), 2010.
- [7] S. W Lin and P C Yang, "Adaptive critic motion control design of autonomous wheeled mobile robot by dual heuristic programming," vol. 44.
- [8] Rolland Siegwart and Illah R. Nourbakhsh, *introduction to Autonomous Mobile Robots*, 1st ed. London: A Bradford Book, 2004.
- [9] Ricky Min Fan Lee, "Wheeled Mobile Robot," , Taiwan.