

PROTOTYPE ROBOT PEMIMPIN UNTUK IMPLEMENTASI ROBOT SWARM (*FOLLOW THE LEADER BEHAVIOR*)

Mifta Roni Prasetya¹, Endah Suryawati², Endra Pitowarno³, Ali Husein⁴
^{2,3&4}Dosen Jurusan T. Elektronika

Jurusan Teknik Elektronika Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111

Telp. 031-5947280, Fax 031-5946114

djarwo@student.eepis-its.edu

endah@eepis-its.edu

epit@eepis-its.edu

ali@eepis-its.edu

Abstrak— Kehandalan dari konsep *Follow The Leader* terletak pada kemampuan manuver robot Pengikut (*Follower*) dalam mengikuti robot Pemimpin (*Leader*) dengan jarak dan sudut yang relatif konstan sedangkan robot Pemimpin sebagai robot autonomus harus memiliki kemampuan dasar seperti perencanaan jalur (*path planning*) dan juga penghindar rintangan (*obstacle avoidance*). Dalam tugas akhir ini kami menggunakan dan mengembangkan *Potential Field Method* untuk aplikasi manuver *obstacle avoidance* dimana ide dasar dari metode ini adalah adanya gaya tolak virtual yang dibangkitkan saat robot mendekati rintangan. Jumlah gaya tolak virtual yang dibangkitkan sebanding dengan jumlah sensor yang mendeteksi adanya rintangan dan besarnya berbanding terbalik dengan jarak robot dengan rintangan. Resultan gaya tolak virtual tersebut akan dijumlahkan dengan gaya tarik virtual yang dibangkitkan dari posisi robot dengan titik tujuan. Gaya tarik virtual ini sebanding dengan jarak robot dengan titik tujuan. Semakin besar gaya tarik virtual maka semakin besar kecepatan robot untuk menuju titik tujuan.

Potential Field Method sangat populer untuk aplikasi penghindar rintangan karena kesederhanaan dalam implementasi namun memiliki kelemahan dalam beberapa kondisi tertentu seperti yang telah diselidiki oleh Y.Koren dan J.Borenstein [1] sehingga mendasari lahirnya metode *Vector Field Histogram (VFH)* dan *Virtual Force Field (VFF)*. Kami mencoba mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut dengan mengembangkan *Adaptive Threshold*

Potential Field Method terbukti cukup handal untuk aplikasi penghindar rintangan. setelah dilakukan sepuluh kali pengujian, didapatkan prosentase error robot melakukan kesalahan (menabrak rintangan) adalah 20%. Untuk kondisi robot dalam ruangan sempit, kesalahan dapat direduksi dengan *adaptive threshold* sehingga prosentase error mencapai 40%

Kata kunci : *follow the leader, robot pengikut, robot pemimpin, trajectory, global information, GPS, local information, vision system, metode trilateration.*

I. PENDAHULUAN

Swarm Robotics yaitu salah satu cabang ilmu robotika yang mempelajari tentang sekumpulan robot dengan struktur fisik relatif sederhana dan kesamaan perilaku yang

mampu bekerja sama dari hasil interaksi antar robot dan interaksi antara robot dengan lingkungannya [2]. *Beacon*

Navigation, Follow The Leader, Match Orientation, dan Orbit robot adalah beberapa contoh perilaku (*behaviors*) dari robot swarm[3]. Dari berbagai macam jenis robot *swarm*, formasi dengan Perilaku Mengikuti Pemimpin (*Follow The Leader Behavior*) menjadi tema yang sangat menarik karena sering kita jumpai dalam kehidupan sehari – hari. Salah satu contoh adalah konvoi kendaraan di jalan raya yang rentan terjadi kecelakaan sehingga diharapkan algoritma Perilaku Mengikuti Pemimpin dapat dijadikan solusi.

Pada tugas akhir ini formasi *Follow The Leader Behaviors* yang kami bangun terdiri dari dua buah mobile robot dengan kendali differensial dimana masing-masing berperan sebagai robot *leader* (selanjutnya akan disebut sebagai robot pemimpin) dan robot *Follower* (selanjutnya akan disebut sebagai robot pengikut). Semua mobile robot tersebut harus mampu bergerak secara mandiri sehingga diperlukan sensor-sensor untuk mendapatkan informasi tentang kondisi lingkungan sekitar sebagai *input* kendali pergerakan. Kehandalan dari formasi ini terletak pada kemampuan manuver robot pengikut dalam mengikuti robot pemimpin sehingga robot pengikut harus mampu mengetahui posisi relatif dirinya terhadap robot pemimpin.

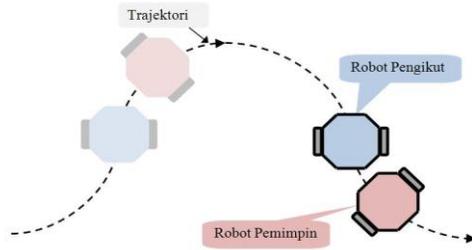
Robot Pemimpin yang bertugas sebagai ‘penunjuk jalan’ memiliki beberapa kemampuan dasar seperti Perencanaan Jalur (*Path Planning*), Menghindari Halangan (*Obstacle Avoidance*), dan Estimasi Keberadaan/Posisi (*Position Estimation*). Metode *Potential Field* adalah algoritma untuk aplikasi penghindaran halangan yang dipandang sebagai algoritma yang sederhana dan praktis dimana algoritma ini menggunakan analogi muatan-muatan partikel yang saling tolak menolak jika bermuatan sama dan saling tarik menarik jika muatannya berbeda[4]. Selain informasi tentang lingkungan dari sensor-sensor robot, posisi tujuan akhir juga diperlukan sebagai data masukan dari proses perencanaan jalur

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Robot Swarm dengan Perilaku Mengikuti Pemimpin

Formasi *Follow The Leader Behavior* terdiri dari satu robot yang berperan sebagai robot pemimpin dan sebagian yang lain sebagai robot pengikut. Robot pengikut bergerak mengikuti trajektori robot didepannya yang diidentifikasi sebagai robot pemimpin dengan jarak yang tertentu dan relatif konstan dalam kecepatan dan akselerasi yang

bervariasi, bahkan keadaan berhenti mendadak[5] seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.2.



Gambar 2.1 : Ilustrasi Perilaku Mengikuti Pemimpin

Metode pemetaan letak robot dapat dengan menggunakan informasi global dengan menggunakan GPS maupun informasi lokal dengan menggunakan kamera (vision based system), menggunakan sensor ultrasonik, line of sight dengan inframerah dan lainnya. Penggunaan GPS untuk dimensi dan skala kecil sangat tidak menguntungkan dari segi kepraktisan dan akurasi karena memiliki kesalahan posisi yang besar. Pada penggunaan ruang dua dimensi, pengetahuan posisi hanya pada batasan bidang yang sama, pada bidang horizontal saja atau bidang vertical saja. Sementara penggunaan vision based system selain dibutuhkan hardware yang rumit hasilnya tidak akurat apabila mobilitas robot sangat tinggi.

B. Prinsip Time Of Flight Untuk Pengukuran Jarak

Gelombang ultrasonik memiliki cepat rambat (meter/ detik) dalam atmosfer standard dan mendekati suhu normal bisa dihitung dengan [3]:

$$c_{US} = 331.5 + 0.6T \text{ m/s} \quad (1)$$

dimana T merupakan suhu dalam derajat Celsius.

Gelombang radio memiliki semua karakteristik gelombang elektromagnetik dengan kecepatan

$$c_{RF} = 299792458 \cong 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (2)$$

Dengan begitu, cepat rambat gelombang ultrasonik dan gelombang radio sangatlah berbeda. Dengan mempertimbangkan cepat rambat dua media ini, jika gelombang ultrasonik dan gelombang radio ditembakkan secara bersamaan pada t_0 (detik) dari transmitter masing-masing pada titik observasinya (penerima) yang terpisah sejauh D (meter), waktu tiba sebenarnya dari ultrasonik t_{US} dan gelombang radio t_{IR} adalah

$$t_{US} = t_0 + \frac{D}{c_{US}} \quad (3)$$

$$t_{RF} = t_0 + \frac{D}{c_{RF}} \quad (4)$$

Dari keterhubungan ini, selisih waktu tiba, $t_{US} - t_{IR}$, adalah

$$t_{US} - t_{IR} = D \left(\frac{1}{c_{US}} - \frac{1}{c_{IR}} \right) \quad (5)$$

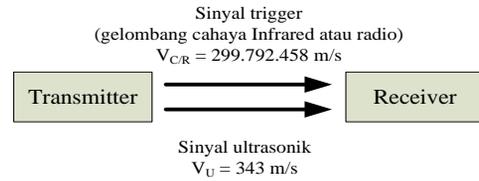
Dari persamaan ini, t_0 telah dihilangkan. Jadi, jarak antara transmitter dan penerima tanpa menghitung t_0 adalah

$$D = \frac{t_{US} - t_{IR}}{\frac{1}{c_{US}} - \frac{1}{c_{IR}}} \quad (6)$$

Sebagaimana pada persamaan (1) dan (2), kecepatan gelombang radio sekitar 10^6 kali lebih besar daripada ultrasonik. *Time of Arrival* (ToA) atau juga disebut *Time of flight* (ToF) adalah waktu tempuh yang diperlukan sinyal radio dari sebuah pemancar (*transmitter*) sampai diterima oleh penerima (*receiver*)[6]. Berbeda dengan metode *Time of Arrival* yang hanya menggunakan waktu kedatangan absolut pada sebuah transduser, metode *Difference in Time of Arival*

lebih memperhatikan selisih waktu antara waktu keberangkatan pada sebuah *station* dengan waktu kedatangan di *station* lain [7]. Metode tersebut dapat dianalogikan dengan bagaimana kita mengetahui seberapa jauh jarak petir dengan mengukur jeda waktu saat kilat petir menyambar dengan suara petir terdengar. Metode DTOA yang kami gunakan dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Robot pemimpin akan memancarkan gelombang radio sebagai sinyal trigger dan gelombang ultrasonik dalam waktu yang bersamaan.

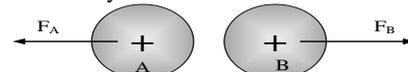


Gambar 2.4 : Prinsip DTOA untuk pengukuran jarak pada sensor ultrasonik

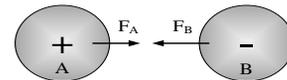
2. Gelombang ultrasonik dan gelombang radio dipancarkan dalam waktu bersamaan namun merambat dengan kecepatan yang jauh berbeda.
3. Robot pengikut akan menerima sinyal trigger terlebih dahulu dan memulai menghitung dengan fitur *counter* sampai gelombang ultrasonik sampai ke penerima (*receiver*).
4. Setelah gelombang ultrasonik sampai ke penerima, robot pengikut akan menghentikan proses *counter* dan mengalikan hasil counter dengan kecepatan gelombang suara sebesar 343 m/s.

C. Metode Potential Field

Ide dasar dari metode yang dikembangkan oleh Andrews dan Hogan pada tahun 1983 ini dapat dianalogikan seperti gerakan sebuah partikel akibat adanya muatan positif dan negatif. Dua buah partikel bermuatan sama yang saling bedekatan akan menghasilkan gaya tolak menolak dan bergerak saling menjauhi. Sebaliknya jika dua partikel dengan muatan yang berbeda akan menghasilkan gaya tarik-menarik dan bergerak saling mendekati seperti ilustrasi pada gambar 2.6 dan gambar 2.7 Mekanisme inilah yang mendasari munculnya *Potential Field Method*.



Gambar 2.6 : Gaya tolak-menolak antara dua partikel bermuatan sama



Gambar 2.7 : Gaya tarik-menarik antara dua partikel bermuatan berbeda

Gaya tolak virtual dihasilkan saat mobile robot mendekati obstacle. Resultan dari penjumlahan gaya tolak virtual tersebut menjadi arah *gaya tolak virtual* robot. Gaya tolak virtual tersebut kemudian dikombinasikan dengan *gaya tarik virtual* sehingga menghasilkan gaya resultan yang merepresentasikan arah gerak robot selanjutnya. Dalam konteks aplikasi *obstacle avoidance*, sebuah robot dan rintangan (*obstacle*) diilustrasikan memiliki muatan yang sama sehingga jika saling berdekatan akan menghasilkan gaya tolak – menolak sedangkan robot dengan titik tujuan memiliki muatan yang berbeda sehingga menghasilkan gaya tarik – menarik.

Repulsive Potential akan menjaga jarak antara robot dengan obstacle. Magnitud dari *Repulsive Potential* ini akan

semakin besar jika jarak robot dengan obstacle semakin dekat demikian pula sebaliknya. *Repulsive Potential* dinotasikan sebagai $U_{rep}(q)$ yang merupakan resultan dari beberapa *Repulsive Potential effect* yang dihasilkan. Jika i adalah jumlah gaya tolak virtual yang dihasilkan dari obstacle maka:

$$U_{rep}(q) = \sum U_{rep\ i}(q) \quad (2.1)$$

$$U(q) = U_{att}(q) + \sum U_{rep\ i}(q) \quad (2.2)$$

Dimana,

$U_{rep}(q)$ = Resultan dari repulsive potential

$U_{att}(q)$ = Attractive Potential

$$U_{rep\ i}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} K \left(\frac{1}{d_{obst}(q)} - \frac{1}{d_{thres}} \right)^2 & \text{jika } d_{obst}(q) < d_{thres} \\ 0 & \text{jika } d_{obst}(q) \geq d_{thres} \end{cases} \quad (2.3)$$

$d_{obst}(q)$ = jarak antara robot dengan obstacle
 $d_{thres}(q)$ = threshold jarak robot dengan obstacle
 K = Suatu konstanta

Repulsive potential dihasilkan meskipun robot masih jauh dengan halangan, hal ini akan membuat robot terus bergerak menuju arah resultan potential meskipun magnitudenya sangat kecil sehingga perlu dibuat batas (*threshold*) minimal pada jarak berapa robot mulai mendeteksi adanya halangan seperti yang dijelaskan pada persamaan 2.3 dan 2.4. *Repulsive Potential* dihasilkan saat jarak antara robot dengan obstacle lebih kecil (d_{obst}) dibandingkan threshold jarak robot dengan obstacle (d_{thres}) yang diijinkan jika sebaliknya maka nilai repulsive potential adalah nol.

Harga negatif dari Gradient yang dibentuk oleh *Repulsive Potential* dinotasikan sebagai $F_{rep}(q)$ adalah

$$F_{rep}(q) = - \Delta U_{rep}(q) \quad (2.5)$$

$$F_{rep\ i}(q) = \begin{cases} K \left(\frac{1}{d_{obst}(q)} - \frac{1}{d_{thres}} \right) \frac{1}{d_{obst}^2(q)} \frac{q - q_{obst}}{d_{obst}} & \text{jika } d_{obst} < d_{thres} \\ 0 & \text{jika } d_{obst} \geq d_{thres} \end{cases} \quad (2.6)$$

q = posisi robot

q_{obst} = posisi obstacle

d_{obst} = jarak antara robot dengan obstacle

2.4.1 Attractive Potential

Attractive Potential adalah gaya yang dibentuk antara posisi robot dengan posisi titik tujuan dan besarnya sebanding dengan kuadrat dari jarak robot dengan tujuan

$$U_{att\ i}(q) = \frac{1}{2} K_{att} d_{goal}^2(q) \quad (2.8)$$

Dimana $d_{goal}(q) = \|q - q_{goal}\|$ merupakan jarak euclidean robot (q) dengan titik tujuan (q_{goal}) sedangkan K_{att} adalah faktor skala

$$U_{att\ i}(q) = \frac{1}{2} K_{att} \|q - q_{goal}\|^2 \quad (2.9)$$

Berbeda dengan *Repulsive Potential*, magnitude *Attractive Potential* semakin besar jika posisi robot semakin jauh dari titik tujuan. Gradien yang dibentuk adalah sebuah vektor yang sebanding dengan selisih antara posisi robot (q) dengan titik tujuan (q_{goal})

$$\Delta U_{att}(q) = K(q - q_{goal}) \quad (2.10)$$

sedangkan *Attractive Force* adalah harga negatif dari gradien *Attractive Potential*

$$F_{att}(q) = - U_{att}(q) \quad (2.11)$$

$$F_{att}(q) = - K(q - q_{goal}) \quad (2.12)$$

Dua elemen penting dalam Potential Field Method (PFM) yaitu gaya tolak virtual (*Repulsive Potential*) dan gaya tarik virtual (*Attractive Potential*). Apabila $q(x,y)$ merepresentasikan posisi robot yang bergerak dalam bidang dua dimensi maka *Artificial Potential Field* yang dinotasikan sebagai $U_{arr}(q)$ yang menjadi orientasi gerakan robot merupakan hasil superposisi dari *Repulsive Potential* ($U_{rep}(q)$) dan *Attractive Potential* ($U_{att}(q)$):

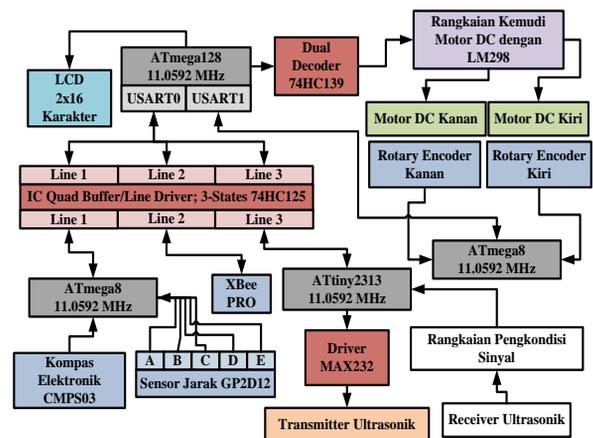
$$U_{arr}(q) = U_{att}(q) + U_{rep}(q) \quad (2.13)$$

Metode ini pernah diimplementasikan dalam sistem yang nyata (mobile robot dengan sensor) oleh Brooks pada tahun 1986 dan Arkin pada tahun 1989 namun pengujian dilakukan dengan kecepatan yang relatif rendah yakni 0.12 cm/detik. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Y.Koren dan J.Borenstein dalam beberapa kondisi Metode ini memiliki kelemahan antara lain: pergerakan osilasi robot ketika melewati lorong yang cukup sempit (*local minima*), kekurangan yang lain adalah metode ini masih dapat menghasilkan resultan gaya tarik *virtual* dengan resultan gaya tolak *virtual* sama dengan nol, sehingga robot tidak bergerak menuju posisi yang diinginkan.

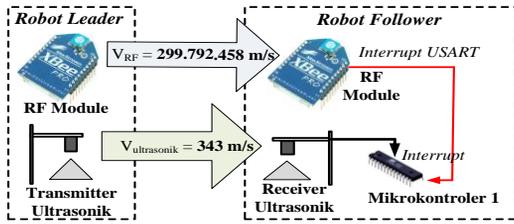
III. PERANCANGAN SISTEM

A. Blok Diagram Sistem

Pembuatan perangkat keras dilakukan berdasarkan blok diagram Seperti yang dijelaskan pada gambar 3.1. menyatakan blok diagram perangkat keras yang terdiri dari perangkat sensor, modul komunikasi nirkabel, sistem kontroler, driver motor, dan aktuator berupa dua buah motor DC yang sudah dilengkapi dengan gearbox. Bagian yang tidak diarsir merupakan bagian yang difokuskan pada robot pengikut sementara pada buku ini akan difokuskan pada robot pemimpin. Pada kedua robot perangkat sensor (kompas elektronik dan sensor ultrasonik) bekerja secara terintegrasi dengan komponen RF module untuk mendukung sistem trilateration yang dibangun berdasarkan metode Time Of Flight(TOF).



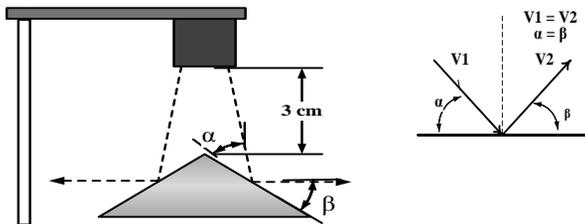
Gambar 3.2 Blok diagram Perangat Keras



Gambar 3.2 Implementasi Metode Time Of Flight

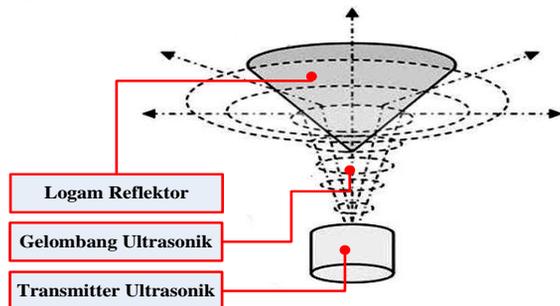
B. Reflektor Ultrasonik

Berdasarkan teori propagasi gelombang bahwa gelombang bunyi dapat dipantulkan oleh permukaan yang keras dan disebut sebagai Gema (echo). Pantulan gelombang bunyi mematuhi Hukum Pantulan yaitu sudut datang sama dengan sudut pantulan seperti yang dijelaskan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Hukum pantulan gelombang

Dari fenomena tersebut, kami akan menggunakan logam tipis berbentuk kerucut yang berguna untuk memantulkan gelombang ultrasonik ke segala arah seperti yang dijelaskan pada gambar 3.4



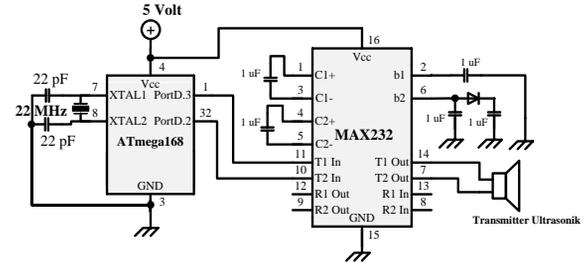
Gambar 3.4 Ilustrasi penyebaran sinyal ultrasonik

Reflektor terbuat dari bahan logam seperti aluminium atau besi solid maupun lempengan tipis. Gelombang ultrasonik akan difilter dan dikuatkan agar dapat dikenali oleh kontroler. Sinyal ultrasonik dapat tertangkap dengan baik dalam range jarak sekitar 11 meter. Sinyal yang dipancarkan dapat diterima dengan baik oleh receiver dengan ketinggian ideal kurang lebih 3 cm dengan posisi titik tengah membran ultrasonik lurus tepat dengan titik tengah penyebar. membran transduser ini menghasilkan sinyal ultrasonik dengan frekwensi 40KHz dan besar sudut elevasi 40°.



Gambar 3.6 Transmitter dengan reflektor

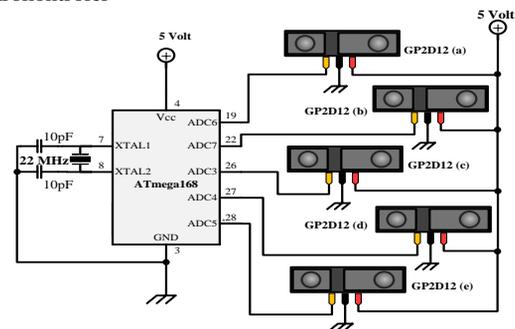
Untuk mengantisipasi pelemahan sinyal ultrasonik maka rangkaian penguatan dua tahap diharapkan dapat menguatkan kembali sinyal tersebut. Rangkaian komparator untuk mengatur sensitivitas sensor terhadap input dikarenakan sinyal input awal sangat kecil sehingga tidak terdeteksi sebagai sinyal input. Dua resistor multitone untuk mengatur threshold positif dan negatifnya. Rangkaian ini berguna untuk meminimalkan delay sinyal input terdeteksi



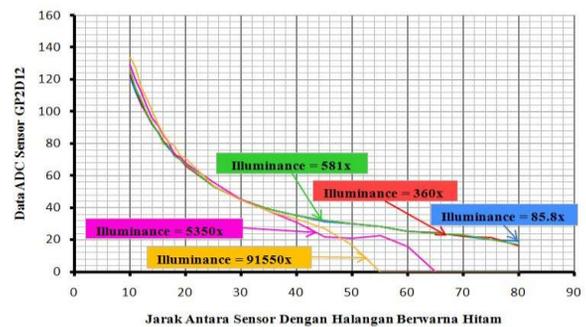
Gambar.3.7 Skema rangkaian transmitter ultrasonik

3.2.1. Peranti Sensor

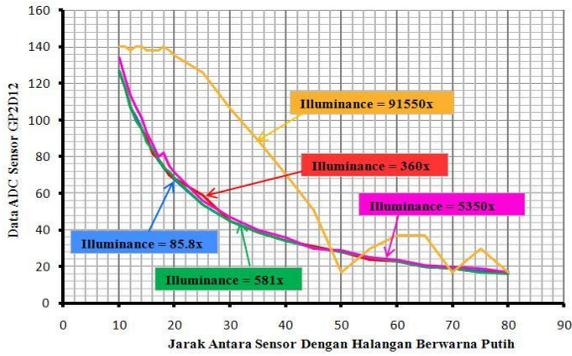
Untuk menghindari intervensi proses pencarian posisi relatif robot dengan metode TDOA yang menggunakan transmitter ultrasonik maka digunakan sensor infra merah GP2D12. Teknik antarmuka untuk sensor GP2D12 memerlukan sebuah IC ADC agar bisa diproses oleh mikrokontroler



Gambar 3.6: Antarmuka GP2D12 dengan Mikrokontroler



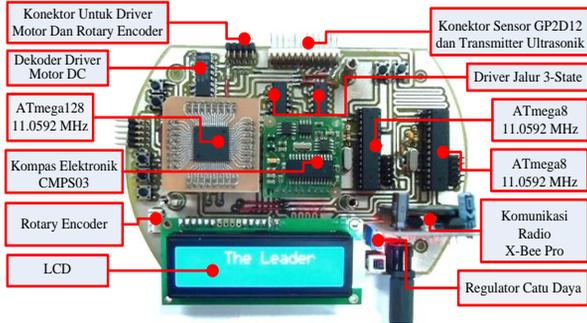
Gambar 3.: Grafik hasil eksperimen sensor GP2D12 dengan obyek halangan berwarna hitam



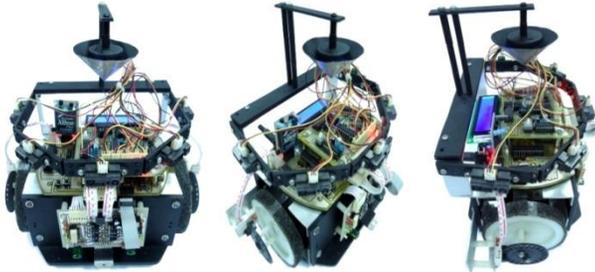
Gambar 3.: Grafik hasil eksperimen sensor GP2D12 dengan obyek halangan berwarna Putih

C. Rangkaian Kontroler

Mikrokontroler ATmega168 akan difungsikan sebagai kontroler *master* untuk mengerjakan task-task yang berkaitan dengan perhitungan matematis yang rumit, sedangkan task-task ringan yang berkaitan dengan pembacaan sensor dan kontrol kecepatan motor DC akan dibebankan pada mikrokontroler ATmega16 yang sangat populer sebagai kontroler *slave*.



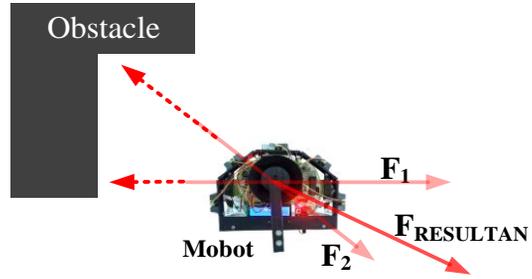
Gambar 3. Kontroler Mobile Robot



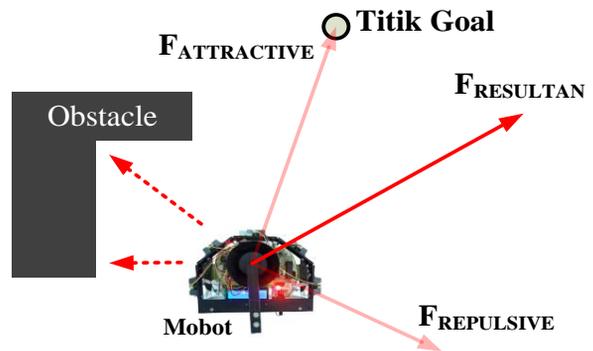
Gambar 3.4 Fisik robot

D. Perancangan dan pembuatan perangkat lunak

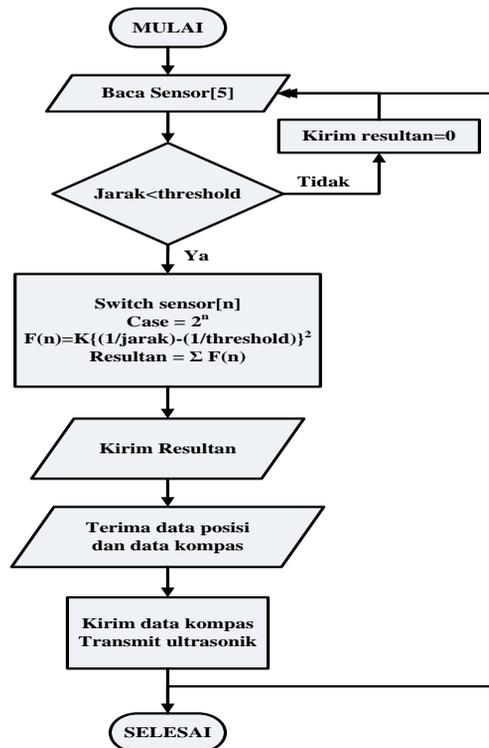
Secara garis besar perangkat lunak (software) yang dibagi menjadi dua bagian yaitu perangkat lunak pada kontroler master dan kontroler pada slave. Perangkat master digunakan untuk pembacaan sensor dan algoritma penghindaran halangan menggunakan metode *Potential Field*. Sedangkan pada kontroler slave terdapat algoritma gerakan dan sensor kecepatan untuk mengetahui posisi. Selain itu terdapat protokol komunikasi antara kontroler *master* dan *slave* dan komunikasi antara robot pemimpin dan robot pengikut.



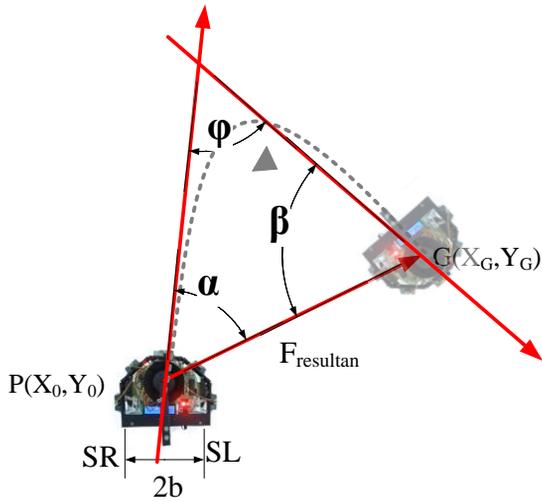
Gambar 4.4 : Repulsive Potential



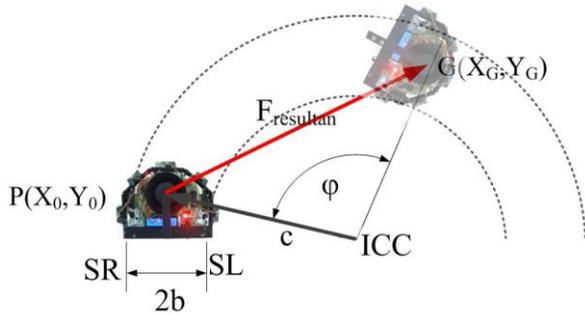
Gambar 4.5 : Repulsive Potential + Attractive Potential



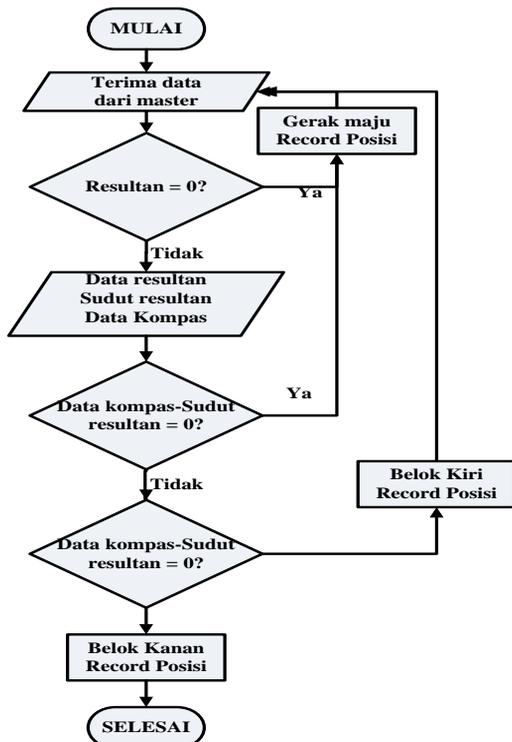
Gambar 3.: Flowchart pada kontroler master



Gambar 4. 6: Perencanaan trajektori robot



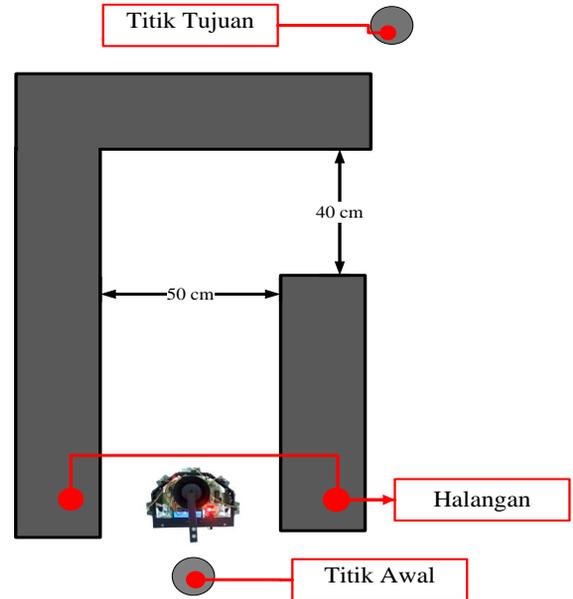
Gambar 4.7: Kinematika sederhana lintasan robot



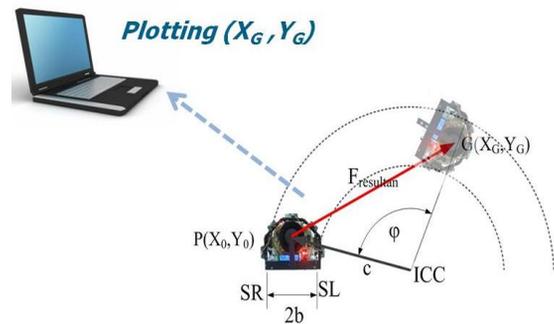
Gambar4.8 Flowchart pada kontroler slave

IV. PENGUJIAN SISTEM

Resultan gaya total dari penjumlahan gaya tolak ($F_{repulsive}$) dengan gaya tarik ($F_{attractive}$) selanjutnya akan digunakan sebagai penentu arah gerakan robot. Gaya resultan total tersebut akan diterjemahkan menjadi jarak robot menuju titik tujuan. Dari jarak tersebut akan diketahui posisi robot yang dituju dalam dua dimensi bidang kartesian (X, Y) seperti yang diilustrasikan pada gambar 4.6.



Gambar 4.1 Medan Uji Robot



Gambar 4.8: Proses perekaman posisi robot (waypoint)

4) Hasil pengujian

Tabel 4.1 Hasil perekaman posisi robot dalam dua dimensi bidang kartesian

Waktu ke-(500 ms)	Posisi X	Posisi Y
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		



Gambar 4.9 Hasil Plotting data waypoint robot menggunakan program Visual Basic

5) Analisa

Sensor jarak GP2D12 memiliki kecepatan pengukuran yang tinggi namun memiliki kelemahan dalam keakurasian data. Kelemahan lain adalah pendeteksian halangan dalam jarak dekat memiliki validitas data yang rendah. Penggunaan kompas elektronik CMPS03 sudah terbukti mampu untuk memandu gerakan robot terhadap sumbu global namun validasi data kompas harus tetap terjaga dengan melakukan proses kalibrasi pada awal pengujian. Proses lain yang menentukan baik tidaknya sistem berjalan adalah proses pewaktuan terkait dengan pensaklaran (*switching*) jalur komunikasi serial. Diperlukan analisa lebih jauh mengenai timing diagram proses eksekusi program setiap mikrokontroler agar pewaktuan menjadi tepat dan tidak terjadi hilangnya data. Beberapa kasus terjadi akibat pewaktuan yang kurang tepat menyebabkan sistem menjadi macet (*hang*)

IV. KESIMPULAN

Penggunaan sensor GP2D12 untuk aplikasi penghindaran halangan dengan metode potensial field teruji cukup baik meskipun masih terjadi beberapa osilasi yang diakibatkan jarak antara robot dengan halangan terlalu dekat, hal ini sering disebut sebagai *local minima*.

Sistem ini juga terbukti tetap stabil pada saat sistem ini diintegrasikan dengan sistem Follow The Leader Behavior yang melibatkan sebuah robot pengikut, disebabkan karena robot leader tidak terlibat terlalu jauh dalam proses pengukuran jarak sebagai proses penentuan posisi relatif antara robot pengikut dengan robot pemimpin melainkan hanya membantu proses pengukuran jarak dengan mengirimkan sinyal ultrasonik dan melakukan trigger.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pitowarno, Endra, (2006). Robotika: Desain, Kontrol, Dan Kecerdasan Buatan. Buku Teks. Yogyakarta: ANDI. 1-3.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Swarm_robotics
- [3] <http://people.csail.mit.edu/jamesm/swarm.php>
- [4] Koren, Y. and Borenstein, J., 1991, "Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navigation". Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation Sacramento, California, April 7-12, 1991, pp. 1398-1404.
- [5] Chandak, P. 2002. "Study and Implementation of Follow the Leader". in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER OF SCIENCE In the Department of Mechanical, Industrial and Nuclear Engineering of the College of Engineering, August-8-2002
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Time_of_arrival
- [7] Rodney, H. (2004). "A Trilaterative Localization System for Small Mobile Robots in Swarms". A thesis submitted to the Department of Electrical and Computer Engineering and The Graduate School of The University of Wyoming in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Electrical Engineering, Laramie, Wyoming August, 2004, pp. 8-9