

Penyelesaian Jalur Terpendek dengan menggunakan Algoritma *Flood Fill* pada *Line Maze*

Akhmad Hendriawan^{#1}, Reesa Akbar^{#2}

[#]Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Kampus PENS-ITS Sukolilo, Surabaya

¹hendri@eepis-its.edu

²reesa@eepis-its.edu

Abstrak-- *Flood fill* adalah metode yang umum digunakan untuk menyelesaikan *maze* dalam bentuk dinding . dan sangat jarang digunakan untuk menyelesaikan *maze* dalam bentuk garis. Pada paper ini diimplementasikan algoritma *flood fill* pada *line follower robot* untuk melakukan pencarian jalur dari tempat awal menuju tempat tujuan dalam suatu lingkungan terkontrol berupa *maze* dalam bentuk garis. Algoritma ini bekerja dengan mengisi sebuah area dengan penanda tertentu. Pada tahap awal algoritma ini akan membagi suatu area, menjadi sub-sub area yang lebih kecil, yang dapat didefinisikan sebagai suatu matrik. Kemudian mengisi sub-sub area tersebut dengan sebuah nilai awal, dimana nilai ini merupakan perhitungan awal untuk jarak dari masing-masing area tersebut dari titik tujuan. Nilai ini akan di-*update* sesuai dengan kondisi *line maze* yang dihadapi, sehingga nilai dari tiap area ini akan sesuai dengan kondisi lapangan (*maze*) yang dihadapi. Pada praktek di *line follower robot* secara langsung algoritma ini telah dapat berjalan dengan tingkat keberhasilan 80%. Manfaat dari penelitian kali ini adalah pengembangan kecerdasan buatan dalam bidang robotika, khususnya dalam hal *maze mapping* dan *path finding* pada *line follower robot*.

Kata kunci—*line follower robot, maze mapping, flood fill, update, path finding*

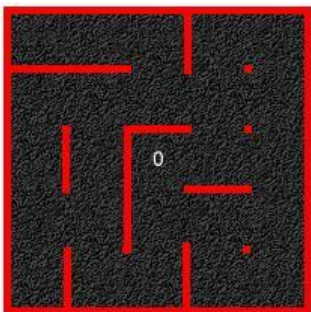
1. Pendahuluan

Line follower robot adalah sebuah robot yang dirancang untuk berjalan mengikuti garis. Namun dalam paper ini, robot tidak hanya bertugas untuk berjalan mengikuti garis saja melainkan juga harus bisa mencari jalan keluar (jalan menuju ke finish) dari suatu *maze*. Hal ini tentunya membutuhkan sistem kendali yang bisa membuat robot mampu melewati *maze* dengan baik dan dengan tingkat *error* seminimal mungkin. Dengan demikian, waktu yang ditempuh untuk mencapai tujuan menjadi lebih efektif.

2. Teori Penunjang

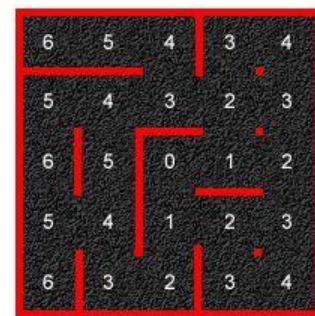
2.1 Algoritma *Flood fill*

Langkah yang paling tepat untuk dapat mengerti algoritma *flood fill* adalah dengan menggunakan analogi air yang ditumpahkan pada sebuah *maze*. Berikut penjelasannya,



Gambar 2.1 Kondisi awal maze

- Proses penumpahan air terpusat hanya pada satu titik (*center*, selanjutnya titik ini akan dikenal sebagai *destination* atau tujuan)
- Air akan membanjiri titik center ini, kemudian mulai mengalir ke area disekitarnya, yang tidak terhalang oleh dinding (dapat diakses secara langsung)
- Secara virtual, *maze* dibagi menjadi beberapa kotak kecil (*array*)
- Kotak dimana titik *center* berada, diberi nilai ' 0 '



Gambar 2.2 Kondisi maze setelah terpenuhi oleh air

- Kotak yang terisi air setelah *center*, akan diberi nilai
 - Kotak yang terisi air setelah golongan 1, akan diberi nilai 2
 - Kotak yang terisi air setelah golongan 2, akan diberi nilai 3
 - Dan begitu pula untuk kotak yang terisi air selanjutnya
- Arti dari nilai di dalam masing-masing kotak adalah jumlah kotak yang harus ditempuh dari kotak tersebut untuk mencapai *center* (tujuan). Asumsikan kotak yang berada pada

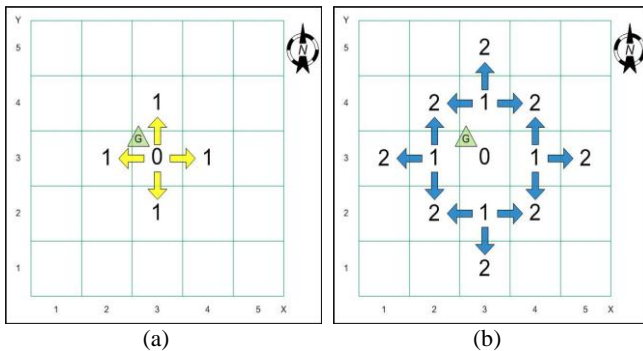
bagian bawah sebelah kiri merupakan *start*, kemudian ikutilah kotak yang memiliki nilai lebih kecil dari nilai kotak yang sedang ditempati. Rute yang akan terbentuk adalah rute terpendek yang dapat ditempuh dari *start* menuju ke *center*.

Penjelasan di atas adalah kondisi lapangan berupa *wall-mazed* sedangkan pada penelitian ini akan digunakan lapangan berupa *line-mazed*. Tujuannya adalah agar memudahkan pemahaman tentang algoritma *flood fill*.

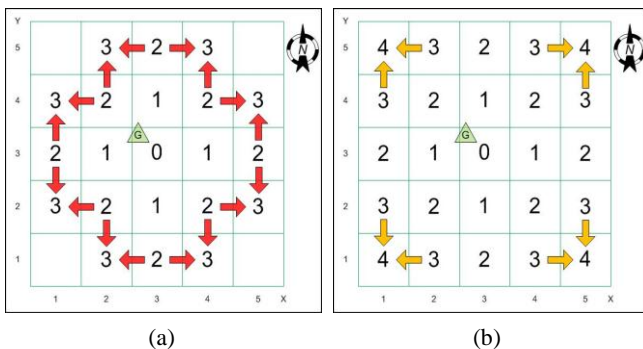
Tahap - tahap Algoritma Flood Fill

- *Generate* nilai awal untuk masing – masing *cell*
 Nilai pembobot awal diasumsikan pada lapangan terdapat jalur yang menghubungkan seluruh *cell* dengan seluruh *cell* tetangganya. *cell* yang berjarak 1 *cell* dari goal akan bernilai 1, yang berjarak 2 *cell* akan bernilai 2, dan seterusnya. Asumsi jarak disini dapat dicapai dengan arah empat mata angin, sehingga tidak ada gerak serong atau diagonal.

Berikut ini diberikan ilustrasi penjelasan diatas,



Gambar 2.3 (a) *cell* yang berjarak 1 *cell* dari goal , (b) *cell* yang berjarak 2 *cell* dari goal.



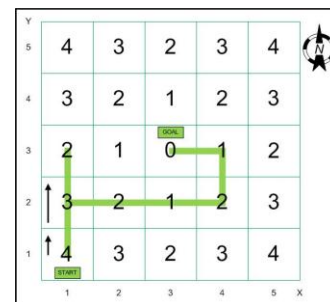
Gambar 2.4 (a) *cell* yang berjarak 3 *cell* dari goal, (b) *cell* yang berjarak 4 *cell* dari goal.

- *update* lapangan
 menyimpsn kondisi lapangan pada tiap *cell*, informasi bentuk lapangan (jalur) akan mempengaruhi besar nilai dari masing-masing *cell*. Karena bentuk lapangan akan mempengaruhi jarak antar *cell*. Berikut akan diberikan variasi kemungkinan bentuk jalur yang dapat terjadi.

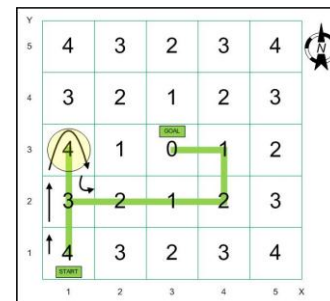
	Straight, left, right cross		Straight, right cross
	Right only		Straight, left cross
	Left only		Right, left cross
	straight		Dead end

Gambar 2.5 kemungkinan – kemungkinan bentuk jalur

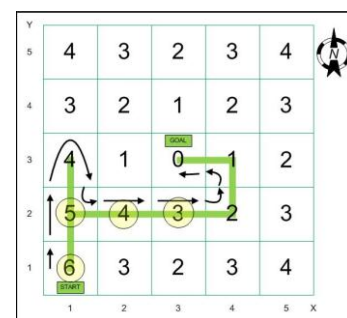
- *update* nilai *cell*
 yaitu merubah nilai dari *cell*, dengan tujuan menyesuaikan nilai *cell* dengan kondisi nyata (lapangan / jalur) yang ada,. proses ini dilakukan apabila,
 1. Robot menemui jalan buntu.
 2. Robot menemui *cell* tujuan yang nilainya lebih besar dari nilai *cell* tempat robot sekarang.
 Berikut akan diberikan gambar sebagai ilustrasi penjelasan di atas,



Gambar 2.6 kondisi awal nilai *cell*

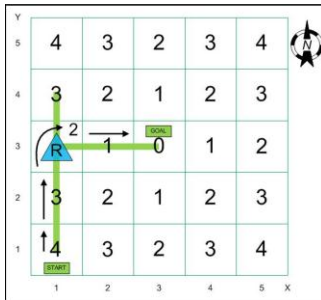


Gambar 2.7 contoh proses *update* pada kondisi *dead end*



Gambar 2.8 contoh proses *update* pada kondisi nilai *cell* tujuan lebih besar daripada *cell* sekarang (*current cell*)

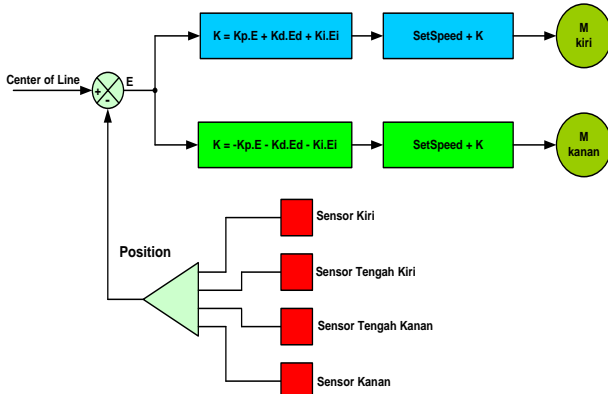
- menentukan *cell* tujuan
 - robot akan membaca kondisi lapangan, dengan begitu robot akan mengetahui *cell* mana saja yang memungkinkan untuk dituju. Dari *cell - cell* ini akan dicek, *cell* yang memiliki nilai terkecil akan menjadi tujuan robot.
 - bergerak ke arah *cell* tujuan
 - setelah *cell* tujuan ditentukan, robot akan bergerak menuju ke *cell* tersebut.
- Untuk kedua langkah terakhir, (menentukan *cell* tujuan, dan bergerak ke arah *cell* tujuan). Berikut diberikan ilustrasinya,



Gambar 2.9 contoh penentuan cell tujuan

2.2 Kontrol PID

Kontrol untuk mengendalikan kecepatan motor DC pada robot digunakan kontroler PID. Kontroler ini merupakan kombinasi antara kontrol P, I dan D. Dengan menggabungkan ketiga kontroler tersebut, maka akan diperoleh luaran yang cukup ideal dari yang diharapkan. Gambar di bawah menunjukkan skema kombinasi PID dalam sebuah kontroler untuk motor DC.



Gambar 2.10 Blok diagram kontrol

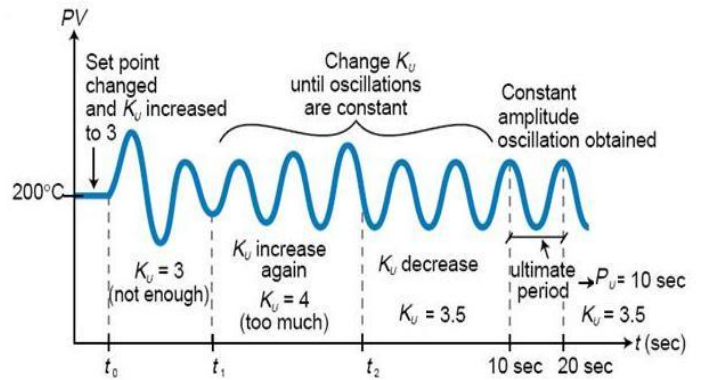
Metode Ziegler-Nichols

Merupakan metode yang digunakan untuk tuning nilai dari konstanta – konstanta pada kontroler PID.

Penalaan parameter PID didasarkan terhadap kedua konstanta hasil eksperimen, K_u dan P_u . Ziegler dan Nichols menyarankan penyetulan nilai parameter K_p , T_i dan T_d berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada tabel dibawah ini.

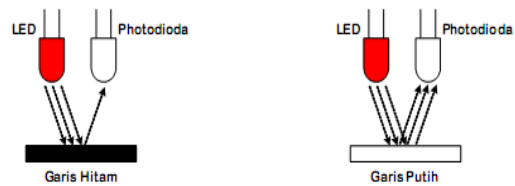
Tabel 2.1 Penalaan parameter PID dengan metode osilasi

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0,5.K_u$		
PI	$0,45.K_u$	$\frac{1}{2} P_u$	
PID	$0,6.K_u$	$0,5 P_u$	$0,125 P_u$



Gambar 2.11 ilustrasi respon terhadap perubahan nilai konstanta pada saat tuning

2.3 LED dan Photodioda



Gambar 2.12 ilustrasi pantulan cahaya pada media warna

Sepasang *super bright* LED dan photodioda digunakan sebagai sensor pembaca garis. Cara kerja dari sensor ini adalah, LED memancarkan cahaya, kemudian media arah pancaran sinar LED ini akan memantulkan cahaya tersebut kembali. Warna dari media pemantul ini akan mempengaruhi besarnya intensitas cahaya yang dipantulkan. Semakin terang warna media pemantul (mendekati warna putih) maka intensitas cahaya yang dipantulkan akan semakin besar, dan semakin gelap warna media pemantul (mendekati warna hitam) maka intensitas cahaya yang dipantulkan akan semakin kecil.

Besar kecilnya intensitas cahaya yang dipantulkan ini akan mempengaruhi nilai resistansi pada photodioda. Semakin besar intensitas cahaya pantul yang diterima photodioda, maka resistansi photodioda akan semakin kecil. Dengan kata lain besar intensitas cahaya yang masuk pada photodioda berbanding terbalik dengan resistansi photodioda tersebut.

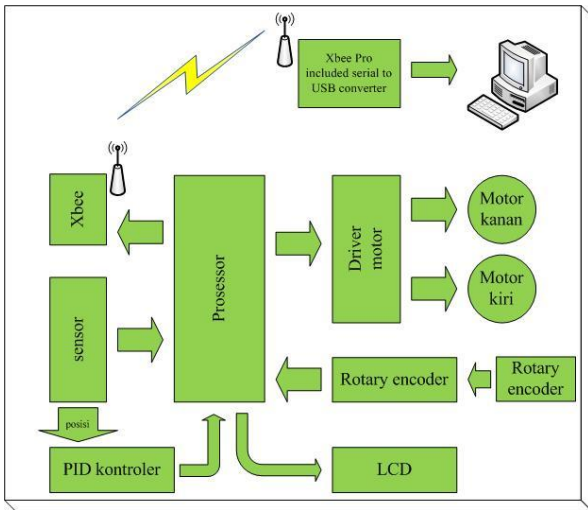
Dengan penggunaan *voltage divider* maka perubahan resistansi pada photodioda ini akan dapat terukur. Tegangan yang dihasilkan oleh photodioda inilah yang digunakan sebagai data pembacaan garis, pada *line follower robot*.

3. Perancangan Sistem

Secara umum, rancangan system yang dibuat adalah tampak pada gambar 3.1

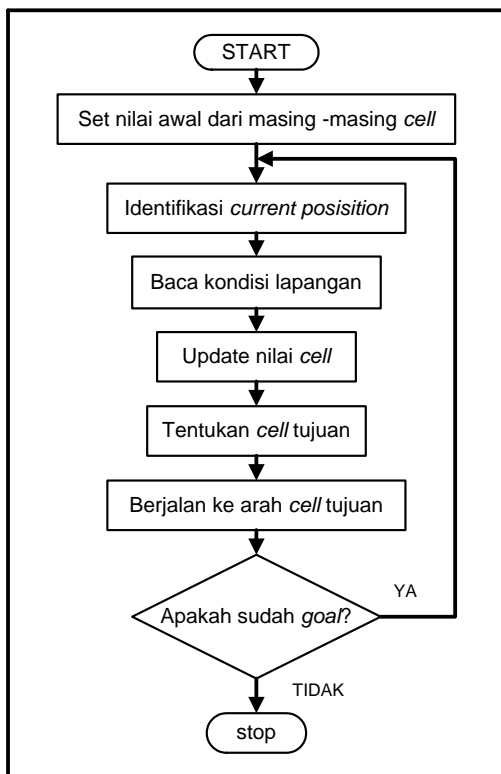
Sistem ini seperti halnya kerja *line follower robot* pada umumnya, namun diberikan beberapa fitur – fitur tambahan, secara umum penambahan fitur – fitur yang dilakukan adalah,

- PID kontroler, berguna untuk kontrol gerakan *line follower robot*, agar dapat berjalan dengan baik, dalam artian tidak banyak beresilasi.
- Rotary encoder, sebagai sensor untuk mengetahui jarak yang telah ditempuh.
- Komunikasi serial, digunakan untuk mengirim data error pada kontroler, sehingga error dapat diamati dan dianalisa.



Gambar 3.1 Konfigurasi system

3.1 Flood Fill



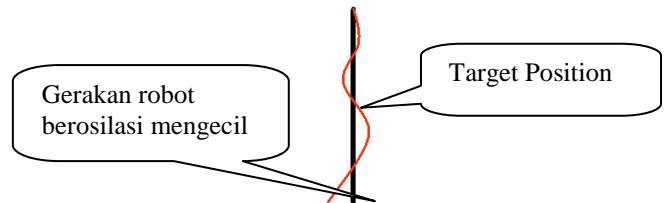
Gambar 3. 2 flow chart algoritma flood fill

Penjelasan dari flow chart di atas adalah sebagai berikut, robot berjalan dari posisi start, setiap 25 cm robot akan berhenti, mengecek apakah terdapat persimpangan atau tidak, ada atau tidaknya persimpangan akan dibaca oleh robot sebagai data, data dari lapangan ini akan masuk sebagai data pada virtual array. Data ini selanjutnya akan menentukan nilai-nilai untuk *neighbour cell* atau dengan kata lain robot melakukan proses update. Nilai-nilai neighbour cell ini kemudian dibandingkan, dan robot akan bergerak ke arah *neighbour cell* yang memiliki nilai paling kecil. Begitu seterusnya hingga robot menemukan *finish*.

3.2 Kontrol PID

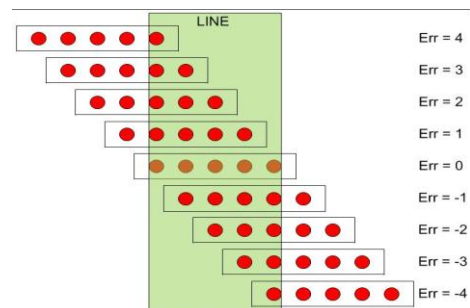
Kontrol PID dalam penelitian ini digunakan untuk mengontrol posisi robot saat berjalan agar bisa selalu berada di tengah-tengah garis. Luaran yang diberikan adalah berupa nilai untuk pengaturan kecepatan motor.

Kontrol untuk mengendalikan kecepatan motor DC pada robot digunakan kontroler PD. Kontroler ini merupakan kombinasi antara kontrol P dan D. Dengan menggabungkan kedua kontroler tersebut, maka akan diperoleh luaran yang cukup ideal dari yang diharapkan.



Gambar 3.3 Pola gerakan robot beresilasi

Dalam penggunaannya, posisi sensor terhadap garis mengartikan error yang terjadi. Berikut adalah gambaran posisi sensor beserta nilai errornya.



Gambar 3.4 nilai error berdasarkan posisi sensor

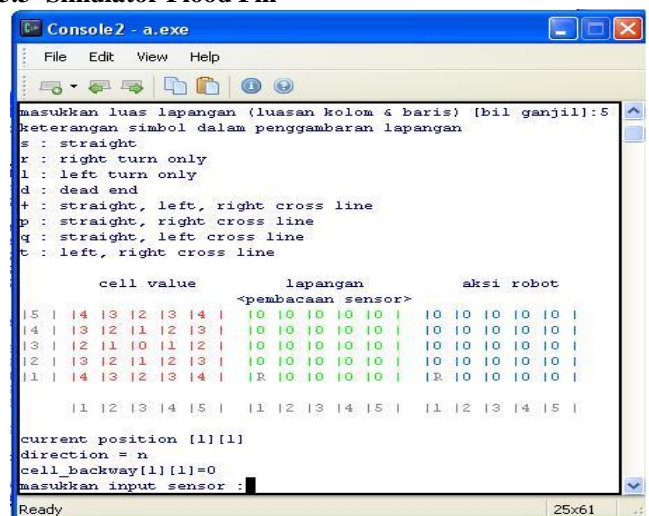
Dalam aplikasinya, maka peran dari kontroler ini dapat diterapkan dalam program dengan formulasi seperti berikut:

- $pwmKiri = PwmRef + (Kp.error + Kd.(error-old_error) + Ki.(error + ak_error))$
- $pwmKanan = PwmRef - (Kp.error - Kd.(error-old_error) - Ki.(error + ak_error))$

Ket:

PwmRef adalah nilai pwm yang diinginkan pada saat error = 0

3.3 Simulator Flood Fill

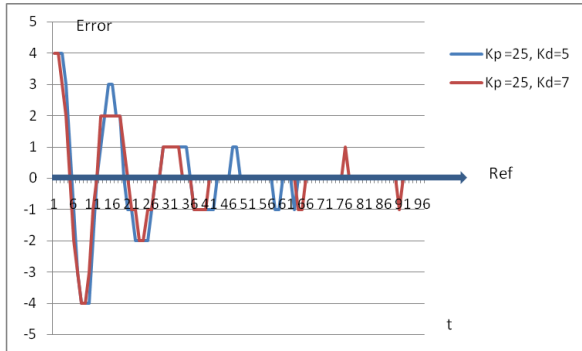


Gambar 3.5 visualisasi simulator algoritma flood fill

Pembuatan simulator ini bertujuan untuk mempermudah pengamatan pada kinerja algoritma flood fill. Karena algoritma ini menggunakan *virtual array* untuk mengidentifikasi tiap-tiap *cell*-nya. Sehingga tidak dapat dilihat secara langsung ketika robot berjalan dilapangan. Pada simulator ini ditampilkan *array* untuk *cell value*, bentuk lapangan (sesuai input *user*), dan *array* untuk aksi dari robot.

4. Pengujian

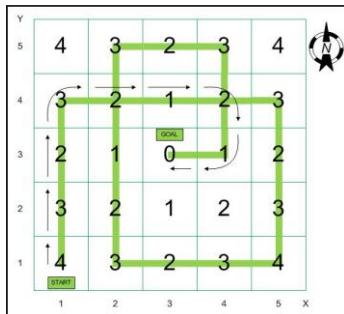
4.1 Pengujian Kontroler



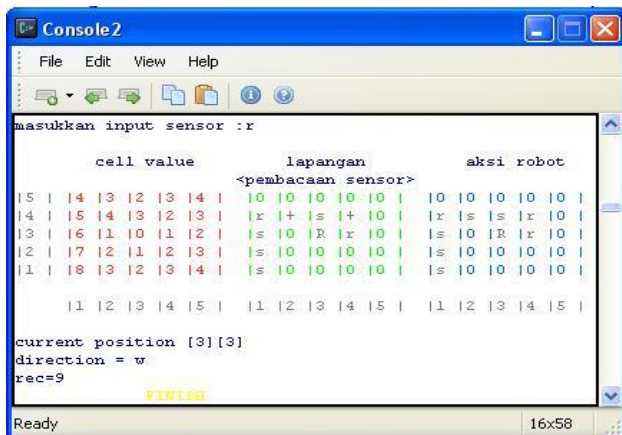
Gambar 4.1 grafik dari data error yang diperoleh dari kontroler yang digunakan

Pengujian ini dilakukan dengan menjalankan linefollower robot pada suatu garis lurus, dan posisi awal robot berada pada kondisi yang memiliki error paling besar. Kemudian kontroler akan melakukan aksi yaitu mengatur kecepatan antara motor kanan dan kiri agar dapat mencapai posisi referensi.

4.2 Pengujian Simulator Flood Fill

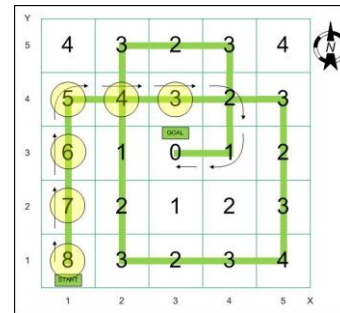


Gambar 4.2 contoh gambar dari lapangan yang akan di simulasikan



Gambar 4.3 visualisasi hasil simulasi algoritma *flood fill* ketika robot telah mencapai *goal* untuk lapangan pada gambar 4.2

Dapat dilihat pada gambar 4.3, pada array berwarna hijau terlihat pola atau jalur yang ditempuh robot. Pada *array* yang berwarna merah terlihat nilai-nilai dari *cell* yang telah di-*update*. Berikut akan diberikan gambar untuk memperjelas hasil *update*-an *cell*.



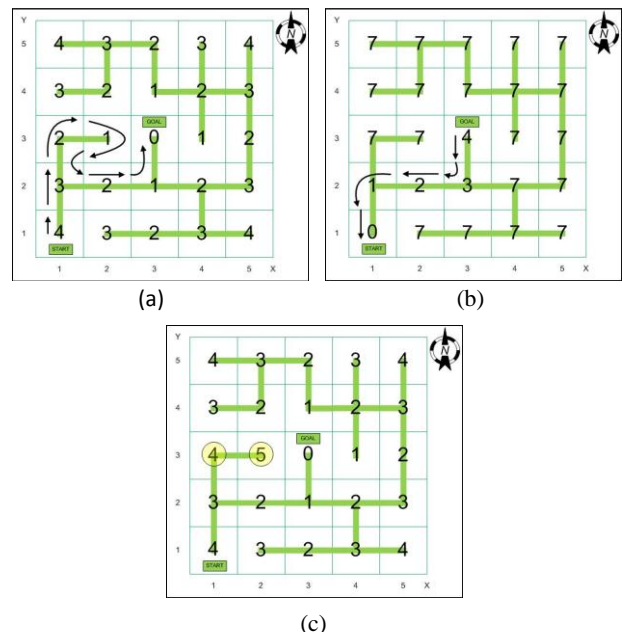
Gambar 4.4 contoh hasil *update cell value* setelah robot mencapai *goal*

Dapat kita amati bersama, bila kita bandingkan nilai –nilai awal *cell* yang terdapat pada gambar 4.2 dan nilai – nilai *cell* yang terdapat pada gambar 4.4. Terdapat beberapa *cell* yang telah diubah nilainya, *cell-cell* ini adalah *cell* yang telah dilewati oleh robot, dan nilainya diubah menjadi sesuai dengan kondisi lapangan yang ada, yaitu nilai *cell* merupakan jarak *cell* tersebut dengan *cell* tujuan (*goal*).

4.3 Pengujian Robot di Lapangan

Hasil dari pengujian pada robot di lapangan telah menunjukkan hasil yang sama ketika dilakukan dalam simulasi, namun terkadang terdapat kesalahan dikarenakan robot salah dalam membaca kondisi garis yang ada. Hal ini dapat diketahui karena setiap pembacaan ditampilkan langsung di LCD yang terdapat pada *hardware* robot. Berikut ditampilkan hasil dari beberapa percobaan yang telah dilakukan.

▪ Percobaan 1



Gambar 4.5 variasi posisi start dan goal model 1, (a) jalur berangkat, (b) jalur pulang, (c) nilai *cell* yang di-*update*

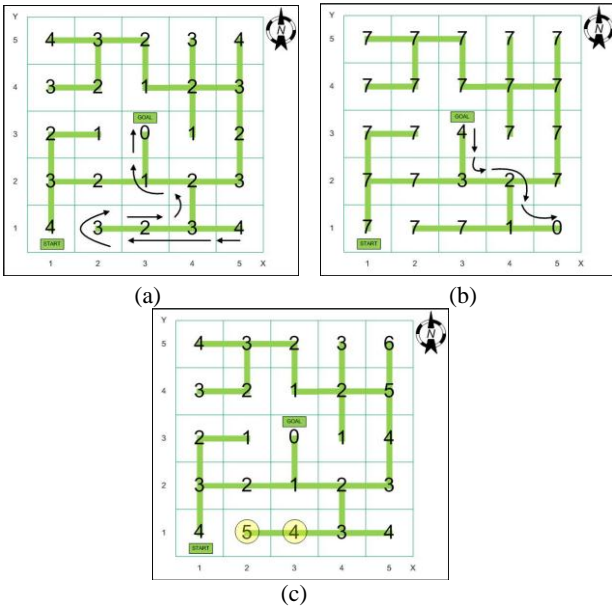
Keterangan :

➤ Start point : 1,1 Goal point : 3,3 Start direction : north

Tabel 4.1 hasil pewaktuan pada variasi model 1

model 1			
percobaan ke-	berangkat pertama (s)	kembali (s)	berangkat kedua (s)
1	9.8	5.1	4.8
2	9.9	4.9	4.9
3	9.9	4.9	4.8
4	10	4.8	4.7
5	gagal		
rata - rata	9.9	4.925	4.8

▪ **Percobaan 2**



Gambar 4.6 variasi posisi start dan goal model 2, (a) jalur berangkat, (b) jalur pulang, (c) nilai cell yang di-update

Keterangan :

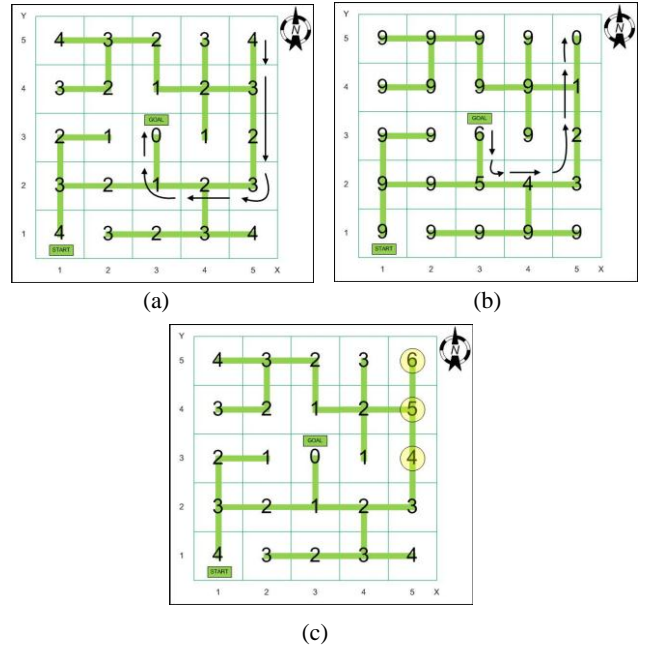
➤ Start point : 5,1 Goal point : 3,3 Start direction : west

Tabel 4.2 hasil pewaktuan pada variasi model 2

model 2			
percobaan ke-	berangkat pertama (s)	kembali (s)	berangkat kedua (s)
1	9.5	6	5.7
2	9.6	5.9	5.8
3	9.4	5.9	5.8
4	gagal		
5	9.6	5.8	5.9
rata - rata	9.525	5.9	5.8

Pada percobaan kali ini terdapat perbedaan antara waktu berangkat dan waktu pulang, karena pada proses berangkat robot sempat menemui jalan buntu. Dan pada waktu pulang jalur buntu ini telah dihindari oleh robot. Sehingga waktu yang diperlukan pun lebih singkat. Dalam percobaan ini dijumpai kegagalan pada *running* dikarenakan faktor mekanik dari robot yang kurang baik.

▪ **Percobaan 3**



Gambar 4.7 variasi posisi start dan goal model 3, (a) jalur berangkat, (b) jalur pulang, (c) nilai cell yang di-update

Keterangan :

➤ Start point : 5,5 Goal point : 3,3 Start direction : south

Tabel 4.3 hasil pewaktuan pada variasi model 3

model 3			
percobaan ke-	berangkat pertama (s)	kembali (s)	berangkat kedua (s)
1	7	6.7	6.6
2	7.1	7.2	6.5
3	7	6.8	6.7
4	6.9	6.8	6.6
5	gagal		
rata - rata	7	6.875	6.6

Pada percobaan kali ini selisih antara waktu berangkat dan waktu pulang sangat kecil, karena pada proses berangkat robot tidak menemui jalan buntu. Namun proses berangkat memiliki tahapan yang lebih kompleks dibandingkan proses pulang. Sehingga memerlukan waktu yang sedikit lebih lama. Dalam percobaan ini dijumpai kegagalan pada *running* dikarenakan faktor mekanik dari robot yang kurang baik.

5. Kesimpulan

- Luaran dari pembacaan sensor oleh ADC pada warna putih secara rata-rata adalah sebesar 9.5 sedangkan luaran ADC pada warna hijau yang digunakan pada *background* lapangan adalah sebesar 183.5 sehingga mampu menghasilkan threshold rata-rata sebesar 96.5. Dapat disimpulkan bahwa kinerja sensor telah bekerja baik pada lapangan yang digunakan.
- Nilai $K_p=25$ dan $K_d=7$, merupakan nilai setting yang didapat untuk *line follower robot* yang dibuat pada *final project* ini, Penggunaan kontroler akan menjaga kestabilan jalan dari robot, sehingga mampu menjaga

keakuratan dalam pembacaan jarak oleh *rotary encoder*, dan juga pembacaan bentuk lapangan oleh sensor garis.

- Rotary encoder yang digunakan telah dapat berjalan dengan baik, error maksimal yang di dapat saat pengujian adalah sebesar 4.9 % dan error rata-ratanya adalah sebesar 0.57%.
- Pada saat dilakukan pengujian *running* algoritma *flood fill* langsung di robot, masih dijumpai error dengan persentase sebesar 20 %, hal ini disebabkan karena pengerjaan mekanik yang kurang baik.
- Setiap pengambilan keputusan yang dilakukan oleh algoritma *flood fill* selalu mempertimbangkan ke arah *cell* yang lebih dekat dengan *cell* tujuan dan apabila terdapat dua *cell* yang memiliki nilai yang sama, maka akan diputuskan untuk memilih waktu tempuh yang lebih

singkat. Waktu tempuh untuk berjalan lurus adalah 0.8 s sedangkan berbelok memerlukan waktu tempuh 1.3 s

6. Pustaka

- [1] Giessel David ; "Building a Mouse", UAF MicroMouse Home Page ; 2007
- [2] Mishra Swarti, Bande Pankaj ; "Maze Solving Algorithm for Micro Mouse", International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems ; 2008
- [3] W Eddy ; "PID for Line Follower", Chicago Area Robotics Group ; 2007
- [4] Chaubey Pranjal ; "The Modified Flood Fill Simulator", The Robotics Institute ; 2008
- [5] Maeda, Y. Kuswadi, Son. M, Nuh. Sulistyio MB. *Kontrol Automatik*. Politeknik Elektronika Surabaya; 1993.