

APLIKASI LIDAR UNTUK PEMETAAN DAN NAVIGASI PADA LINGKUNGAN TERTUTUP

LIDAR APPLICATION FOR MAPPING AND NAVIGATING ON CLOSED ENVIRONMENT

Ikhsan Maulana¹, Angga Rusdinar², Rizki Ardianto Priramadhi³

1,2,3 Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ikhsanmasu@gmail.com ²anggarusdinar@telkomuniversity.co.id, ³rizkia@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pemetaan dan navigasi pada robot saat ini banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti pada industri, peralatan rumah tangga, militer, eksplorasi dan kendaraan otomatis. Pemetaan dan navigasi robot sangat penting untuk digunakan pada lingkungan tertutup yang sulit dijangkau oleh manusia. Dengan adanya pemetaan dan navigasi pada robot dapat memudahkan robot untuk mengenal lingkungan sekitarnya.

Data dari sensor LIDAR dapat dikonversi menjadi peta dari lingkungan sekitar dan dapat digunakan sebagai estimasi posisi dari robot pada lingkungan tertutup. Data jarak dari sensor LIDAR dan data derajat posisi sensor LIDAR di konversi ke dalam sumbu kartesian dan diolah menjadi peta lokal. Lokalisasi dengan menggunakan sensor LIDAR digunakan sebagai acuan untuk memperbarui peta global.

Hasil dari Tugas Akhir ini adalah alat telah dapat melakukan pemetaan lingkungannya serta menentukan posisinya berada. Pengukuran jarak oleh sensor memiliki error kurang dari 0.109 %. Peta yang dihasilkan dapat dibuat jalur navigasi dari satu titik ke titik lain yang diinginkan.

Kata Kunci : pemetaan dan navigasi, LIDAR, lokalisasi, peta lokal, peta global.

Abstract

Mapping and navigation on robots is now widely applied in areas such as industry, home appliances, military, exploration and automated vehicles. Mapping and navigation of robots is essential for use in CLOSED environments that are hard to reach by humans. With the mapping and navigation on the robot can allow the robot to recognize the surrounding environment.

Data from LIDAR sensors can be converted to maps of the surrounding environment and can be used as an estimate of the position of robots in a CLOSED environment. The distance data from the LIDAR sensor and the LIDAR sensor position status data are converted into cartesian axes and processed into local maps. Localization using LIDAR sensors are used as a reference for updating global maps.

The result of this Final Project is the device has been able to do the mapping of its environment and determine its position. The sensor's distance measurement has an error of less than 0.109%. The resulting map can be made a navigation path from one point to another desired point.

Keywords : Mapping and navigation, LIDAR, localization, local map, global map.

1. Pendahuluan

Pemetaan lingkungan adalah salah satu aspek yang penting dalam studi robotika saat berhadapan dengan lokalisasi, penentuan posisi, navigasi otomatis, dan juga pencarian dan penyelamatan[1]. Pemetaan lingkungan dapat digunakan untuk gua-gua yang sempit, lorong-lorong bawah tanah yang memiliki kadar oksigen rendah dan lingkungan baru yang belum diketahui keamanannya yang tidak mungkin dijamah oleh manusia. Selain itu banyaknya pekerjaan manufaktur, pertambangan dan industri yang masih manual dikerjakan oleh manusia sangat rawan akan terjadinya kecelakaan. Oleh karena itu dibutuhkan alat yang dapat melakukan pemetaan dan navigasi secara otomatis, sehingga robot dapat menggantikan pekerjaan manusia.

Untuk dapat membuat pemetaan lingkungan dibutuhkan sensor yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi serta daya jangkau yang jauh. LIDAR adalah salah satu teknologi penginderaan jauh yang sangat berpotensi untuk membantu (memetakan, memonitor, dan menaksir lokasi-lokasi unsur spasial) banyak bidang/aplikasi terkait penyediaan basis data geospasial[2]. Karena kerapatan data dan tingkat akurasinya yang tinggi sehingga sensor LIDAR sangat cocok untuk diimplementasikan pada pemetaan dan navigasi robot.

Navigasi otomatis pada robot juga diperlukan pada pemetaan lingkungan agar robot dapat berjalan dengan baik. Data dari LIDAR dapat dipetakan dan digunakan oleh robot untuk menentukan lokalisasi terhadap lingkungan. Kemudian data pemetaan tersebut digunakan oleh robot untuk navigasi dan perencanaan gerakannya. Selain itu data dari LIDAR juga digunakan untuk estimasi posisi robot yang dibutuhkan pada saat pemetaan lingkungan sekitarnya. Lokalisasi dan perencanaan jalan adalah hal yang mendasar dalam masalah navigasi robot. Lokalisasi dan

perencanaan jalan adalah hal yang mendasar dalam masalah navigasi robot. Untuk mencapai navigasi yang sukses, robot harus mampu melokalisasi dirinya sendiri dan menghasilkan peta lingkungan secara simultan (SLAM)[3].

2. Dasar Teori

2.1 Konversi data LIDAR

Sebelum dibuat peta data tersebut harus dirubah dahulu kedalam bentuk kordinat dengan persamaan sebagai berikut[1]:

- a) Konversi dari derajat ke radian

$$\theta_{rad} = \theta_{deg} \times \frac{\pi}{180} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan θ_{rad} = Sudut dalam radian dan θ_{deg} = Sudut dalam derajat. Data dari pengendalian motor *stepper* biasanya direpresentasikan dalam derajat sehingga persamaan (1) digunakan untuk mengkonversi data derajat pembacaan sensor kedalam bentuk radian agar dapat dihitung posisi kordinat dari pembacaan jaraknya.

- b) Mencari x dan y

$$x = rho \times \sin(\theta_{rad}) \dots \dots \dots (2)$$

$$y = rho \times \cos(\theta_{rad}) \dots \dots \dots (3)$$

Dengan x = Kordinat kartesian x, y = Kordinat kartesian y dan rho = Jarak pembacaan sensor.

Agar dapat dibuat peta maka data dari pembacaan dan sudut orientasi dari sensor harus dikonversi kedalam kordinat kartesian dengan menggunakan persamaan (1) dan (2).

Setelah itu kemudian data tersebut dapat dikonversi ke dalam bentuk peta lokal untuk kemudian diperbarui ke peta global. Terdapat empat langkah pembuatan peta lokal dari titik pemindaian[4]

- a) *Filtering*
- b) *Clustering*
- c) *Clusters segmentation*
- d) *Line segment fitting*

Hasil akhir dari proses ini adalah sekumpulan dari line segmen yang mendekati kontur dari lingkungan sekitarnya. Untuk memperbarui peta global kemudian data posisi dari robot dibandingkan dengan posisi pada peta yang kemudian hasil data peta lokal ditambahkan ke peta global berdasarkan posisi robot yang baru.

2.2 Occupancy Grid

Occupancy Grid mencerminkan peta multidimensi lingkungannya (biasanya 2D atau 3D) ke dalam sel, di mana setiap sel menyimpan nilai *probabilistik* keadaannya[5]. Informasi lingkungannya dapat diambil dari data sensor jarak, kamera dan *bump* sensor yang biasa digunakan untuk menentukan rintangan di lingkungan robot. Terdapat 2 representasi dari peta *Occupancy Grid* yaitu *Occupancy Grid Biner* dan *Occupancy Grid Probabilitas*.

Occupancy Grid Biner menggunakan nilai true untuk mewakili ruang kerja yang diduduki (rintangan) dan nilai *false* untuk mewakili ruang kerja bebas. Kotak ini menunjukkan di mana rintangan dan apakah robot bisa bergerak melalui ruang itu. Sedangkan *Occupancy Grid Probabilitas* menggunakan nilai probabilitas untuk membuat representasi peta yang lebih rinci. Representasi ini adalah metode yang disukai untuk menggunakan *Grid* hunian. *Grid* ini biasa disebut hanya sebagai hunian. Setiap sel di *Grid* hunian memiliki nilai yang mewakili probabilitas hunian sel tersebut. Nilai yang mendekati 1 mewakili kepastian tinggi bahwa sel mengandung hambatan. Nilai yang mendekati 0 mewakili kepastian bahwa sel tidak diduduki dan bebas hambatan[6].

2.3 Probabilistic Road Map (PRM)

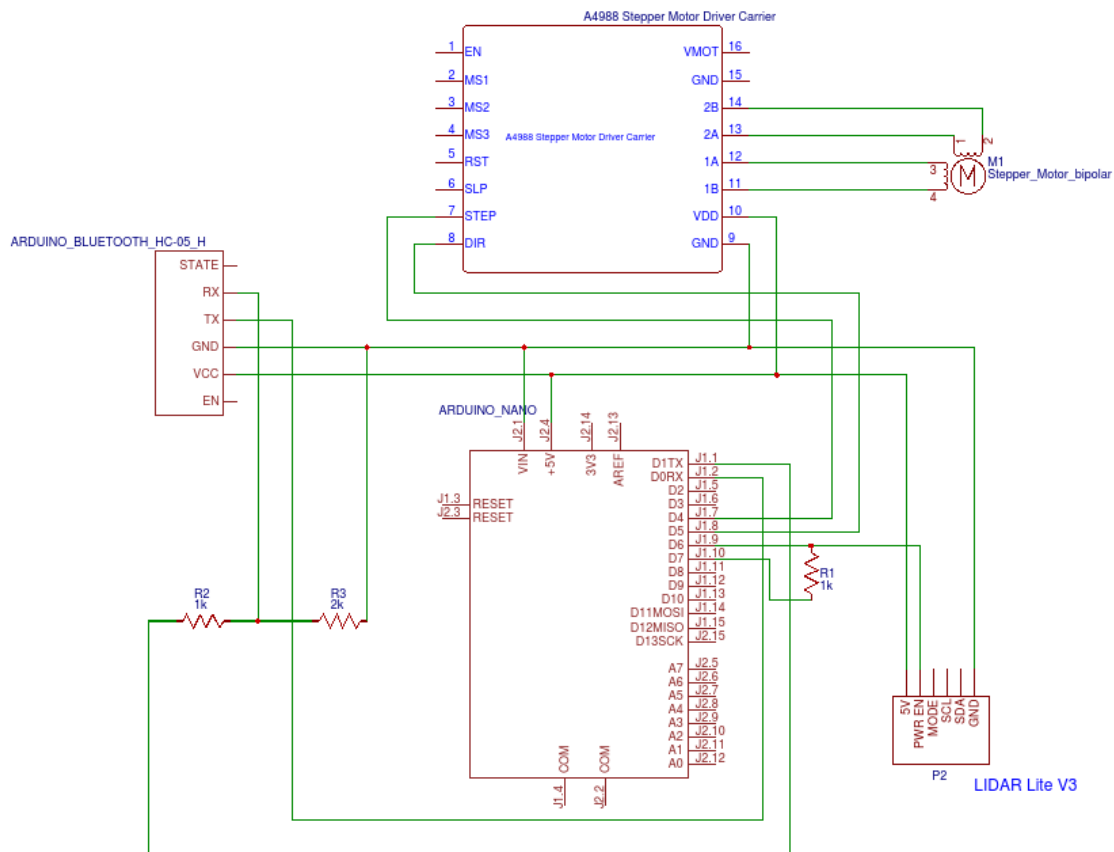
Probabilistic Road Map (PRM) adalah grafik jaringan dari jalur yang mungkin ada dalam peta yang ditentukan berdasarkan ruangan yang bebas dan tanpa hambatan[7].

Pada dasarnya cara kerja PRM adalah mengambil sampel acak dari peta. Setiap *sample* diperiksa apakah berada pada ruangan yang kosong atau bebas hambatan. Kemudian dibuat perencanaan lokal lalu setiap perencanaan tersebut di hubungkan satu sama lain berdasarkan yang terdekat.

3. Perancangan Sistem

3.1 Perancangan Umum Sistem

Untuk dapat melakukan pemetaan dan navigasi di perlukan beberapa tahapan yaitu pengambilan data dari sensor, estimasi posisi robot, pembuatan peta dan navigasi. Sensor diputar sejauh 360 derajat menggunakan motor *stepper*. Arduino mengambil data dari sensor LIDAR Lite V3 menggunakan komunikasi PWM. Data dari sensor diambil setiap *step* dari putaran motor *stepper*. Data dari sensor dikirim oleh *bluetooth* dan diambil datanya menggunakan serial komunikasi oleh *software* Matlab. Setelah data didapat, kemudian Matlab mengubah data tersebut untuk dapat diolah menjadi peta dan navigasi. Setiap pergerakan dari motor *stepper* dikendalikan oleh perintah dari Matlab yang dikirim melalui *bluetooth* dengan serial komunikasi.

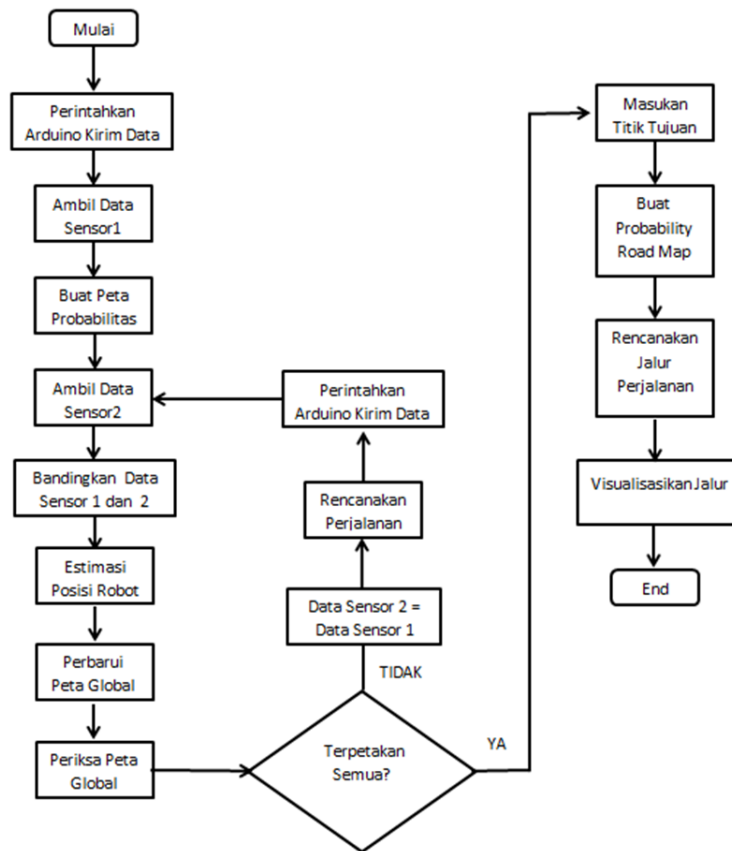


Gambar 1. Perancangan Perangkat Keras

3.2 Diagram Alir Sistem

Pertama program dijalankan *software* Matlab mengonfirmasi serial komunikasi dengan Arduino. Kemudian Matlab memberi perintah kepada Arduino untuk menggerakkan sensor serta mengirim data setiap stepnya. Setelah data didapat kemudian data diolah oleh Matlab untuk dibuat peta probabilitasnya. Kemudian Matlab mengambil data lagi dan disimpan pada variabel yang berbeda. Data pertama dan data yang baru diolah menggunakan fungsi *scan matching* sehingga didapatkan posisi robot yang baru. Data posisi dan orientasi kemudian digunakan untuk memperbarui data peta global. Proses pengambilan data dan perbaruan peta global terus berlangsung hingga semua lingkungan sudah terpetakan. Setelah terpetakan data peta yang didapat sebelumnya ditambah batasan untuk robot

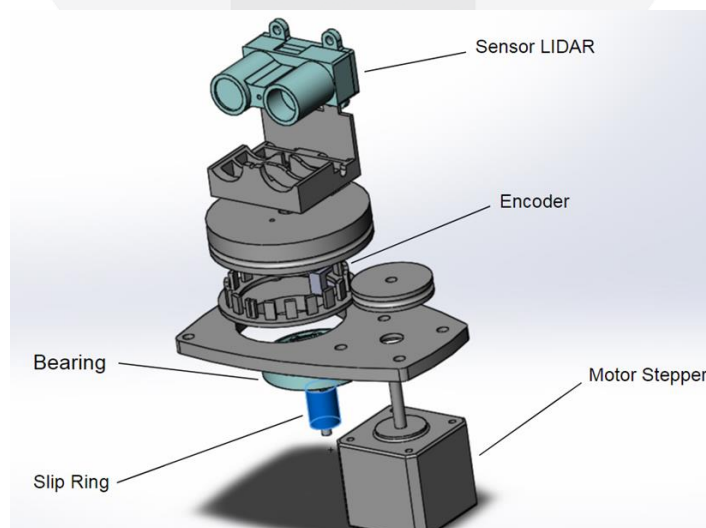
dengan fungsi *inflate* map. Setelah itu dibuat grafik kemungkinan jalur yang dapat dilalui menggunakan fungsi PRM. Setelah itu dicari jalur terpendek berdasarkan peta dan PRM sebelumnya.



Gambar 2. Diagram Alir Sistem

3.3 Desain Hardware

Perancangan pemutar sensor LIDAR sangat penting karena akan mempengaruhi pembacaan setiap sudut orientasinya. Sensor LIDAR dan motor *stepper* harus dikombinasikan dalam suatu rancangan *hardware*. Oleh karena itu dirancang pemutar sensor seperti pada Gambar III-4. Perancangan pemutar sensor dibuat menggunakan *software Solid Works* kemudian data rancangan dijadikan dasar pencetakan *part* pemutar sensor LIDAR. Bahan yang digunakan untuk pencetakan adalah plastik.



Gambar 3. Rancangan Hardware

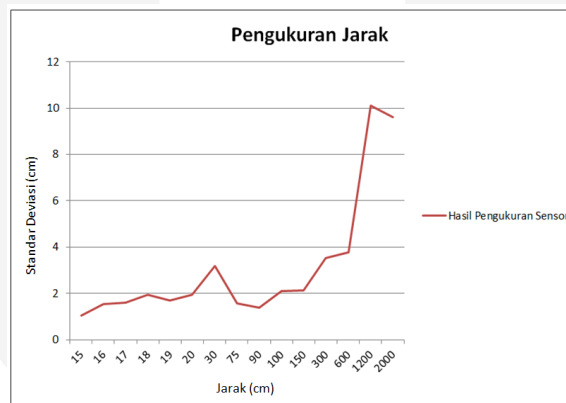
4. Hasil Pengujian

4.1. Pengujian Pengukuran *Error* Sensor Pada Garis Lurus

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi pembacaan jarak oleh sensor LIDAR pada satu jarak yang ditentukan dibandingkan dengan jarak sebenarnya yang terukur. *Error* pada setiap jarak dipakai untuk menentukan berapa batas jarak pengukuran yang baik.

Tabel 1. Data Pengukuran Jarak Oleh Sensor LIDAR

Jarak Pengukuran Sebenarnya (cm)	Rata-rata 30 Kali Pengukuran Jarak Oleh Sensor (cm)	<i>Error</i> Rata-rata Pengukuran Jarak Oleh Sensor (%)	Standar Deviasi Pengukuran Jarak Oleh Sensor (cm)
15	16	0.0667	1.05
16	16.73	0.0458	1.53
17	17.13	0.0078	1.59
18	18.30	0,0167	1.95
19	19.50	0.0263	1.69
20	20.50	0.0250	1.94
30	33.27	0.1089	3.18
75	74.93	0.0009	1.57
90	90.87	0.0096	1.38
100	103.80	0.0380	2.11
150	155.17	0.0345	2.12
300	308.17	0.0272	3.51
600	603.37	0.0056	3.77
1200	1218.77	0.0156	10.11
2000	2008.87	0.0044	9.62

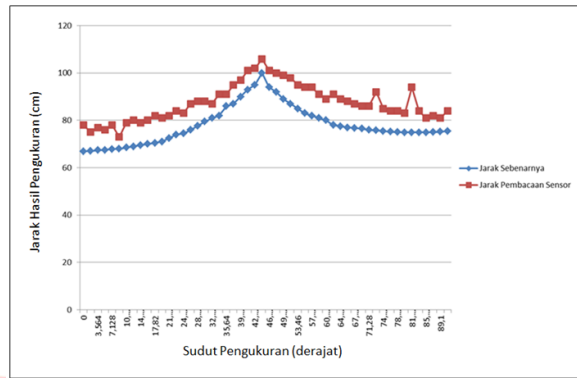


Gambar 4 Grafik Standar Deviasi Pengukuran Jarak Oleh Sensor

Berdasarkan tabel 1 jika pengukuran jarak oleh sensor LIDAR dilakukan sebanyak 30 kali lalu diambil nilai rata-ratanya maka akan didapatkan nilai pengukuran dengan *error* kurang dari 0.109 % dari jarak yang sebenarnya. Selain itu berdasarkan grafik didapat bahwa pengukuran pada jarak yang semakin kecil hasil pengukurannya semakin baik ditunjukkan dengan nilai standar deviasi yang semakin mengecil. Pada pengujian ini dibatasi pengukuran hanya sampai 20 meter karena saat dilakukan pengukuran lebih dari 20 meter, data jarak bukan *error* tidak didapat secara kontinu. Dapat disimpulkan bahwa batas jarak pengukuran yang baik untuk pemetaan adalah kurang dari 20 meter dan batas minimal pengukuran dapat disesuaikan dengan dimensi robot.

4.2. Pengujian Pengukuran Jarak dan Visualisasinya Pada Sudut Tertentu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pembacaan pada jangkauan sudut tertentu. Hasil pembacaan akan menentukan ketepatan sensor dalam pembacaan data untuk pemetaan.



Gambar 5 Grafik Hasil Pengukuran Sensor dan Jarak Sebenarnya

Berdasarkan Gambar 5 hasil pengujian dapat dilihat bahwa hasil pembacaan jarak sensor LIDAR pada sudut tertentu mendekati nilai jarak sebenarnya dan berdasarkan Gambar IV-5 didapat bahwa hasil visualisasi data pengukuran setiap sudutnya sudah mendekati bentuk ruangan pengujian walaupun masih terdapat *Error*. *Error* pembacaan jarak nantinya sendiri dapat diatasi dengan pembuatan peta yang dibagi menjadi kotak-kotak dengan resolusi tertentu.

4.3. Pengujian Pengukuran Jarak Pada Warna dan Material Permukaan Tertentu

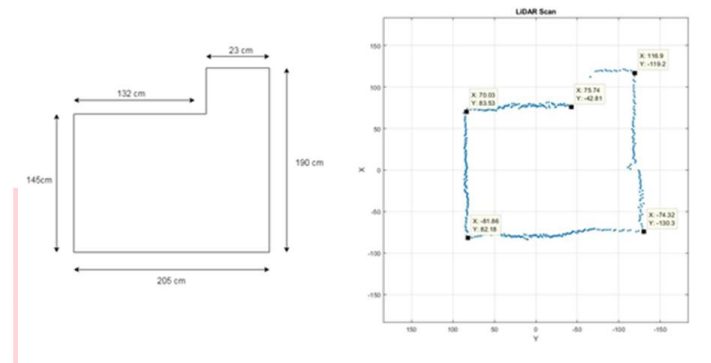
Tabel 2. Hasil Pengujian Dengan Warna dan Material Berbeda dalam satuan cm

No.	Nilai Pengukuran Jarak Pada Warna					Nilai Pengukuran Jarak Pada Material				
	Merah	Hijau	Biru	Putih	Hitam	Tembok	Plastik	Kayu	Besi	Kardus
1	103	104	104	101	88	81	87	84	102	101
2	103	105	106	103	99	104	97	102	104	109
3	105	105	105	102	104	103	106	101	103	110
4	114	105	105	102	105	105	100	103	105	117
5	110	104	103	105	96	106	103	102	103	118
6	102	103	105	104	101	102	96	104	103	110
7	102	106	104	102	102	100	101	101	109	111
8	105	103	103	103	98	100	101	103	105	108
9	103	104	107	104	106	107	100	102	106	106
10	102	104	106	101	103	106	98	104	105	113
11	105	105	107	105	106	101	101	103	103	109
12	104	103	101	102	104	100	101	104	95	110
13	103	104	103	104	101	105	101	99	105	120
14	105	103	105	102	96	106	99	101	108	115
15	102	104	104	101	102	106	115	100	104	106
16	104	106	103	101	98	100	111	101	106	114
17	103	104	103	100	99	102	117	103	105	116
18	102	103	103	101	102	97	105	102	109	107
19	106	103	102	102	100	81	105	101	105	111
20	105	103	102	103	98	107	102	100	107	116
Rata-rata (cm)	104.4	104.05	104.05	102.4	100.4	100.71	102.42	101.09	104.6	111.35
Standar Deviasi (cm)	2.96	0.99	1.67	1.43	4.22	7,39	6,62	4,24	2,99	4,75

Berdasarkan nilai standar deviasi pada Tabel 2 didapat bahwa setiap material benda yang diukur dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Perbedaan hasil dari pengukuran pada lingkungan dengan variasi material dan warna yang banyak dapat mempengaruhi bentuk dari visualisasi pemetaan.

4.4. Pengujian Visualisasi Hasil Scan Sensor LIDAR

Pengujian ini bertujuan untuk melihat hasil visualisasi *scan* sensor LIDAR yang diputar 360 derajat dibandingkan dengan bentuk lingkungan pengujian yang sebenarnya. Pengujian dilakukan dengan cara memutar sensor LIDAR sejauh 360 derajat menggunakan motor *stepper*. Pemutar motor *stepper* memiliki 404 step untuk dapat memutar sejauh 360 derajat. Pengambilan data dilakukan setiap stepnya. Data lalu dikirimkan melalui serial komunikasi yang kemudian diambil datanya oleh *software* Matlab. Data hasil *scan* diolah oleh Matlab untuk divisualisasikan.

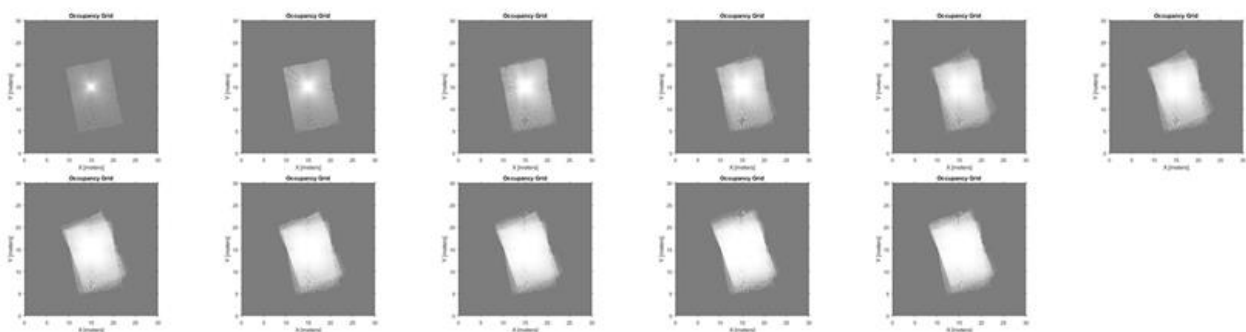


Gambar 6. Perbandingan Ruang Pengukuran dan Hasil Visualisasi Data Scan LIDAR

Berdasarkan hasil data *scan* Gambar 6 didapat bahwa bentuk visualisasinya mendekati dari bentuk ruangan aslinya. Adapun bentuk visualisasi yang tidak berupa garis lurus merupakan hasil dari *error* pembacaan sensor karena pembacaan sensor kurang dari 1 meter sesuai dengan hasil perhitungan *error* 4.1. Dengan mengurangi koordinat X pada sisi kiri didapat panjang sisi kanan berdasarkan visualisasi adalah 191.22 cm atau memiliki *error* 0.006% dan pada sisi bawah dengan pengurangan nilai koordinat Y didapat panjangnya 212.48 cm atau memiliki *error* sebesar 3.6%. Berdasarkan visualisasi didapat bahwa dimensinya mendekati dengan dimensi sebenarnya.

4.5. Pengujian Pemetaan

Pengujian ini bertujuan untuk melihat hasil visualisasi pemetaan dari data sensor yang diambil berkali-kali. Selain itu pengujian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *error* dari estimasi posisi menggunakan *scan matching* pada hasil visualisasi peta lingkungan. . Pengujian dilakukan dengan cara memutar sensor LIDAR sejauh 360 derajat menggunakan motor *stepper*. Pemutar motor *stepper* memiliki 404 step untuk dapat memutar sejauh 360 derajat. Pengambilan data dilakukan setiap stepnya. Data lalu dikirimkan melalui serial komunikasi yang kemudian diambil datanya oleh *software* Matlab. Data hasil *scan* yang diambil dengan pada setiap pengambilannya ditentukan posisi robot yang baru. Data hasil *scan* yang baru disisipkan ke peta *Occupancy Grid* sesuai dengan posisi dan orientasi robot yang didapat dari fungsi *Scan Matching*

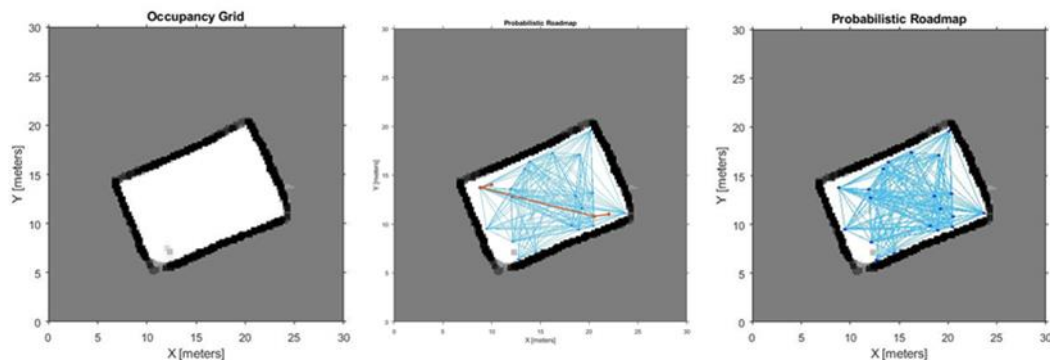


Gambar 7. Hasil Pengujian Pemetaan

Berdasarkan visualisasi hasil pemetaan pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa terdapat *error* pembacaan orientasi robot yang menyebabkan *error* pada visualisasi pemetaan. Karena estimasi posisi dan orientasi berdasarkan data *scan* sekarang dan sebelumnya makan *error* yang dihasilkan semakin besar dan menyebabkan hasil pemetaan semakin kurang baik dapat dilihat dari hasil visualisasi yang semakin menjauhi bentuk sebenarnya pada setiap kenaikan tahapan pemetaan

4.6. Pengujian PRM dan Path Planning

Pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah hasil pemetaan layak dijadikan acuan navigasi robot. Selain itu pengujian ini bertujuan untuk menunjukkan fungsi pemetaan tersebut pada robot. Pengujian dilakukan dengan cara memutar sensor LIDAR sejauh 360 derajat menggunakan motor *stepper*. Pemutar motor *stepper* memiliki 404 step untuk dapat memutar sejauh 360 derajat. Pengambilan data dilakukan setiap stepnya. Data lalu dikirimkan melalui serial komunikasi yang kemudian diambil datanya oleh *software* Matlab. Data hasil *scan* diambil berulang dengan pada setiap pengambilannya ditentukan posisi robot yang baru. Data hasil *scan* yang baru disisipkan ke peta *Occupancy Grid* sesuai dengan posisi dan orientasi robot hasil dari fungsi *scan matching*. Kemudian data peta di beri batasan dimensi robot dengan fungsi *inflate*. Peta yang telah diberi batasan kemudian di buat *Probabilistic Road Map*. Lalu dicari jalur terdekat antar titik yang diinginkan. Resolusi peta pada pengujian ini lebih kecil dari percobaan sebelumnya.



Gambar 8. Hasil Pengujian Pemetaan

Berdasarkan dari hasil pengujian Gambar 8 didapat bahwa peta dapat dijadikan acuan navigasi robot. Setelah jalur didapat, robot dapat dikendalikan untuk mengikuti jalur tersebut. Adapun penentuan jumlah *node* pada PRM akan semakin baik jika semakin banyak tetapi waktu kalkulasinya semakin lama.

5. Kesimpulan

1. Sensor LIDAR *Lite V3* memiliki nilai standar deviasi yang berbeda untuk setiap jarak yang dibaca dengan rentang antara 1.05 cm hingga 10.11 cm untuk pengukuran kurang dari 20 meter.
2. Jarak yang baik bagi sensor LIDAR *Lite V3* untuk memetakan lingkungannya adalah kurang dari 20 meter dengan standar deviasi 9.62 cm.
3. Warna dan Material dari media pengukuran dapat mempengaruhi pembacaan data jarak oleh sensor. Untuk pembacaan pada warna tertentu didapat rentang standar deviasi antara 0.99 untuk pembacaan pada warna hijau hingga 4.22 untuk warna hitam. Untuk pembacaan pada material yang berbeda didapat rentang standar deviasi antara 2.99 untuk pembacaan pada material besi hingga 6.62 untuk pembacaan pada material plastik.
4. Alat telah dapat melakukan pemetaan lingkungannya. Berdasarkan visualisasi didapat *error* 0.006% pada kordinat X dan pada koordinat Y didapat *error* sebesar 3.6%.

Daftar Pustaka:

- [1] M. A. Markom, A. H. Adom, E. S. M. M. Tan, S. A. A. Shukor, N. A. Rahim, A. Y. M. Shakaff, A Mapping Mobile Robot using RP LIDAR Scanner. IEEE Transaction on Robotics and Intelligent Sensors, 2015.
- [2] E. Prahasta, Pengolahan Data LIDAR. Bandung : Informatika, 2015.
- [3] N. Jain, Y. P. Kumar, K. S. Nagla, Comer Extraction From Indoor Environment For Mobile Robot Mapping. Presented at India Conference (INDICON), New Delhi, India, 2015.
- [4] J. Gonzalez, Map Building for a Mobile Robot equipped with a 2D Laser Rangefinder. IEEE Transaction on Robotics and Automation, 1994.
- [5] A. Elfes, Using Occupancy Grids for Mobile Robot Perception and Navigation. IEEE Transaction on Computer, 1989.
- [6] <https://www.mathworks.com/help/robotics/ug/occupancy-grids.html> [Diakses 21 Desember 2017, 08:00:21 WIB].
- [7] <https://www.mathworks.com/help/robotics/ug/probabilistic-roadmaps-prm.html> [Diakses 21 Desember 2017, 08:44:15 WIB].