

Pemetaan Ruangan pada Robot Beroda Menggunakan Sensor LiDAR

Aries Jehan Tamamy¹, Zaenal Arifin², Bramandika Kunni Zulfika³, Wahyu Alfani⁴, Wahyu Sahrul Gunawan⁵

^{1,2,3,4,5}Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro
Jl. Imam Bonjol No.207, Semarang 50131, Indonesia
e-mail: jehantammy@dsn.dinus.ac.id¹, xzaenal@dsn.dinus.ac.id²

Abstract

The lidar sensor is widely utilized in mapping systems due to its high level of accuracy. It is commonly employed in vehicles and robots to determine the distance between the main point and surrounding objects. In the case of a 360° lidar sensor, data collection occurs as the sensor completes a full rotation, enabling it to provide a comprehensive mapping of a room covering 360°. In this particular study, the researcher aimed to gather room data using a 360° lidar sensor mounted on a wheeled robot to generate room mapping results. However, to achieve a complete room mapping, Odometry readings on the wheeled robot are also required. The researcher discusses the reading of the Gyroscope sensor and rotary encoder to acquire the x and y coordinates on the wheeled robot, as well as the spatial mapping of the lidar sensor utilizing the updated x and y data obtained from the Gyroscope sensor and rotary encoder processing. The study's findings reveal that the Gyroscope sensor and rotary encoder yielded odometric readings with RMSE errors of 13.40 cm on the x-axis and 10.63 cm on the y-axis. Additionally, the mapping process produced an RMSE error of -6.932 cm at the x coordinates and -1.41 cm at the y coordinates.

Keywords: Room Mapping, Odometry, Gyroscope, rotary encoder

Abstrak

Sensor LiDAR sering digunakan dalam sistem pemetaan karena tingkat akurasi yang tinggi. Sensor ini juga sering digunakan pada kendaraan dan robot untuk mengukur jarak antara titik pusat dan objek di sekitarnya. Dalam sensor lidar 360°, data diambil saat sensor lidar berputar satu putaran penuh, sehingga mampu memetakan lingkungan 360° secara keseluruhan. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan sensor lidar 360° yang dipasang di atas robot beroda untuk memetakan ruangan. Namun, untuk melakukan pemetaan ruangan secara lengkap, pembacaan *Odometry* pada robot beroda juga diperlukan. Peneliti membahas pembacaan sensor *Gyroscope* dan *rotary encoder* untuk mendapatkan posisi x dan y pada robot beroda, serta pemetaan ruangan menggunakan data x dan y yang diperbarui dengan informasi dari sensor *Gyroscope* dan *rotary encoder*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembacaan *Odometry* dari sensor *Gyroscope* dan *rotary encoder* menghasilkan error RMSE sebesar 13.40 cm pada sumbu x dan 10.63 cm pada sumbu y. Sedangkan error RMSE pada pemetaan adalah -6.932 cm pada koordinat x dan -1.41 cm pada koordinat y.

Kata kunci: Pemetaan ruangan, Odometri, Gyroscope, rotary encoder

1. Pendahuluan

Teknologi *Light Detection And Ranging* (LiDAR) merujuk pada jenis sensor pemindai jarak yang pada operasionalnya memanfaatkan cahaya dalam mengukur jarak serta mendapatkan informasi tentang objek di sekitarnya [1]. Sensor LiDAR memiliki banyak aplikasi di berbagai bidang, termasuk untuk kebutuhan militer, kegiatan eksplorasi, kegiatan pencarian serta

pelacakan, kegiatan pemetaan dan kegiatan kehutanan. Di sektor kehutanan, LiDAR memiliki potensi dalam membantu dalam aktivitas seperti inventarisir setiap pohon, pengukuran struktur ketinggian vertikal untuk pohon, dan estimasi jumlah karbon di dalam hutan [2]. Selain itu, dalam bidang robotika dan teknologi terkini, LiDAR digunakan dalam kendaraan otonom. Prinsip kerjanya melibatkan pemancaran pulsa cahaya pendek yang dapat dikendalikan dengan akurat, sehingga LiDAR mampu memetakan setiap lingkungan secara statik dan melakukan deteksi serta aktivitas identifikasi setiap kendaraan bergerak, masyarakat pejalan kaki, dan makhluk satwa [3].

Kemampuan deteksi jarak dari sensor LiDAR yang digunakan dalam kendaraan otonom dapat bervariasi tergantung pada model dan spesifikasi sensor yang digunakan. Pada umumnya, sensor LiDAR yang digunakan dalam kendaraan otonom saat ini memiliki jangkauan deteksi yang hingga ratusan meter. Selain jarak pembacaan, kecepatan titik pembacaan/deteksi tertinggi dari sensor LiDAR saat ini juga bervariasi tergantung pada model dan spesifikasi sensor yang digunakan. Beberapa sensor LiDAR terkini mampu mencapai kecepatan pembacaan yang sangat tinggi. Sebagai contoh, beberapa sensor LiDAR yang digunakan dalam kendaraan otonom mampu melakukan pembacaan dengan kecepatan titik hingga puluhan ribu hingga ratusan ribu titik per detik. Ini berarti sensor tersebut dapat memindai dan mengumpulkan data jarak dari banyak titik dalam waktu yang sangat singkat [4].

Sensor LiDAR dapat digunakan untuk beberapa aplikasi mulai dari navigasi maupun pemetaan ruangan. Navigasi membantu kendaraan untuk menghindari rintangan sedangkan pemetaan mampu menentukan posisi kendaraan dalam sebuah area, selain itu LiDAR juga mampu membantu dalam mengilustrasikan bentuk lingkungan secara 2 dimensi maupun 3 dimensi. Beberapa sensor yang sering digunakan untuk pemetaan adalah sensor kamera beresolusi, sensor *laser range finder*, sensor ultrasonik, dan sensor Kinect. Sensor-sensor tersebut memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing.

Berbagai penelitian yang dilakukan telah menyelidiki dan membandingkan penggunaan *laser range finder* dengan sensor berbasis ultrasonik dan inframerah. Hasil dari penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa *laser range finder* memberikan data yang lebih akurat dalam pengukuran jarak. Dalam perbandingan dengan sensor ultrasonik, laser range finder menawarkan keunggulan dalam ketepatan pengukuran karena sinar laser memiliki frekuensi yang lebih tinggi dan sudut divergensi yang lebih rendah, sehingga mampu menghasilkan hasil yang lebih presisi dan detail. Selain itu, dalam perbandingan dengan sensor inframerah, *laser range finder* juga menunjukkan keunggulan dengan kemampuannya untuk mengatasi gangguan dari sumber cahaya lainnya, sehingga menghasilkan data yang lebih akurat dan konsisten. Dengan demikian, berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, penggunaan *laser range finder* merupakan pilihan yang lebih unggul dalam mendapatkan data jarak yang akurat [5] [6] [7].

Sensor LiDAR (Light Detection and Ranging) digunakan untuk memetakan ruangan dengan mengumpulkan data jarak secara detail. Proses pemetaan dimulai dengan memancarkan pulsa sinar laser yang terarah ke sekitar ruangan. Ketika sinar laser memantulkan atau dihamburkan kembali dari objek atau permukaan di dalam ruangan, sensor LiDAR menerima pantulan tersebut. Dengan mengukur waktu tempuh pulsa sinar laser yang dipantulkan, sensor LiDAR dapat menghitung jarak antara sensor dan objek tersebut. Sensor LiDAR kemudian melakukan pemindaian area dengan menggerakkan atau mengarahkan sinar laser secara bertahap untuk mencakup seluruh ruangan. Data jarak yang dikumpulkan dari setiap titik pemindaian ini kemudian digabungkan dan diproses untuk menghasilkan representasi tiga dimensi yang akurat dari ruangan, yang dapat berupa model atau peta visual. Informasi ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti navigasi robot, pemetaan lingkungan, atau pengawasan keamanan. Dengan kemampuannya untuk menghasilkan gambaran yang detail dan presisi tentang ruangan, sensor LiDAR menjadi alat yang sangat berguna dalam pemetaan dan pemahaman ruang secara digital [8] [9].

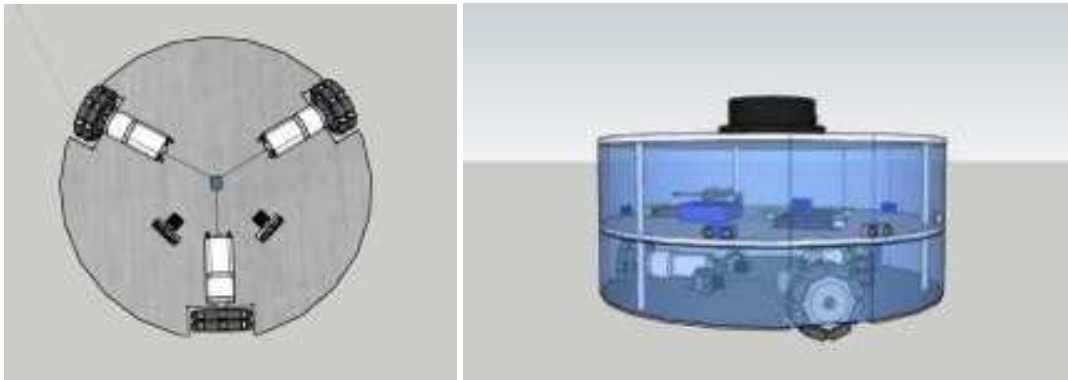
Tujuan kegiatan penelitian ini yaitu untuk mendapatkan hasil dari pemetaan ruangan dalam bentuk 2 dimensi. Untuk melakukan pemetaan ruangan, robot beroda bergerak dari satu koordinat ke koordinat lainnya dengan untuk setiap koordinat dengan mengukur dan menghitung *Odometry* dan sensor LiDAR untuk mendapatkan hasil pengukuran dan pemetaan yang akurat dengan nilai *error* yang sedikit.

2. Metode Penelitian

Pada bagian ini, kemudian akan dikaji mengenai perancangan robot beroda, termasuk perancangan mekanis, pembuatan sistem *Odometry* terdiri dari beberapa sensor pengukur *rotary* dan sensor perhitungan posisi dan orientasi (*Gyroscope*), pengolahan data dari sensor LIDAR, serta perancangan piranti keras dan piranti lunak yang mencakup proses pengumpulan dan pengolahan data dari sensor *Gyroscope*, sensor *rotary encoder*, dan sensor LiDAR yang dipasang dalam robot untuk menghasilkan peta 2 dimensi.

Rancang Bangun Robot Beroda

Dalam penelitian ini, robot beroda dirancang dengan menggunakan 3 komponen motor dan 3 roda untuk penggerak agar mampu bergerak dalam berbagai arah. Selain itu, 2 *rotary encoder* dipasang untuk membentuk sudut 90 derajat. Gambar 1 adalah rancangan robot tersebut.

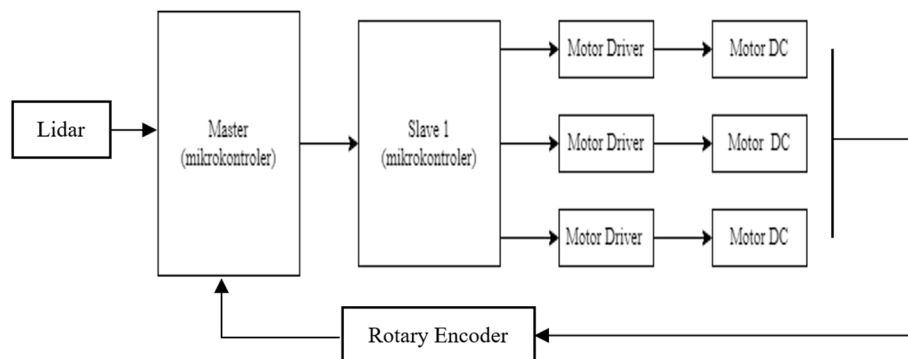


Gambar 1. Desain Mekanik Robot Penggerak 3 Roda

Aktuator dan *rotary encoder* ditempatkan di bagian paling bawah robot. Sementara itu, perangkat keras seperti mikrokontroler, komponen driver motor, sensor *Gyroscope*, dan sensor RF24 ditempatkan pada lapisan kedua robot. Sedangkan sensor LiDAR ditempatkan di bagian paling atas untuk menghindari gangguan pembacaan untuk data yang tidak dikehendaki, seperti kabel atau perangkat keras lainnya yang dapat menghalangi proses sensor tersebut.

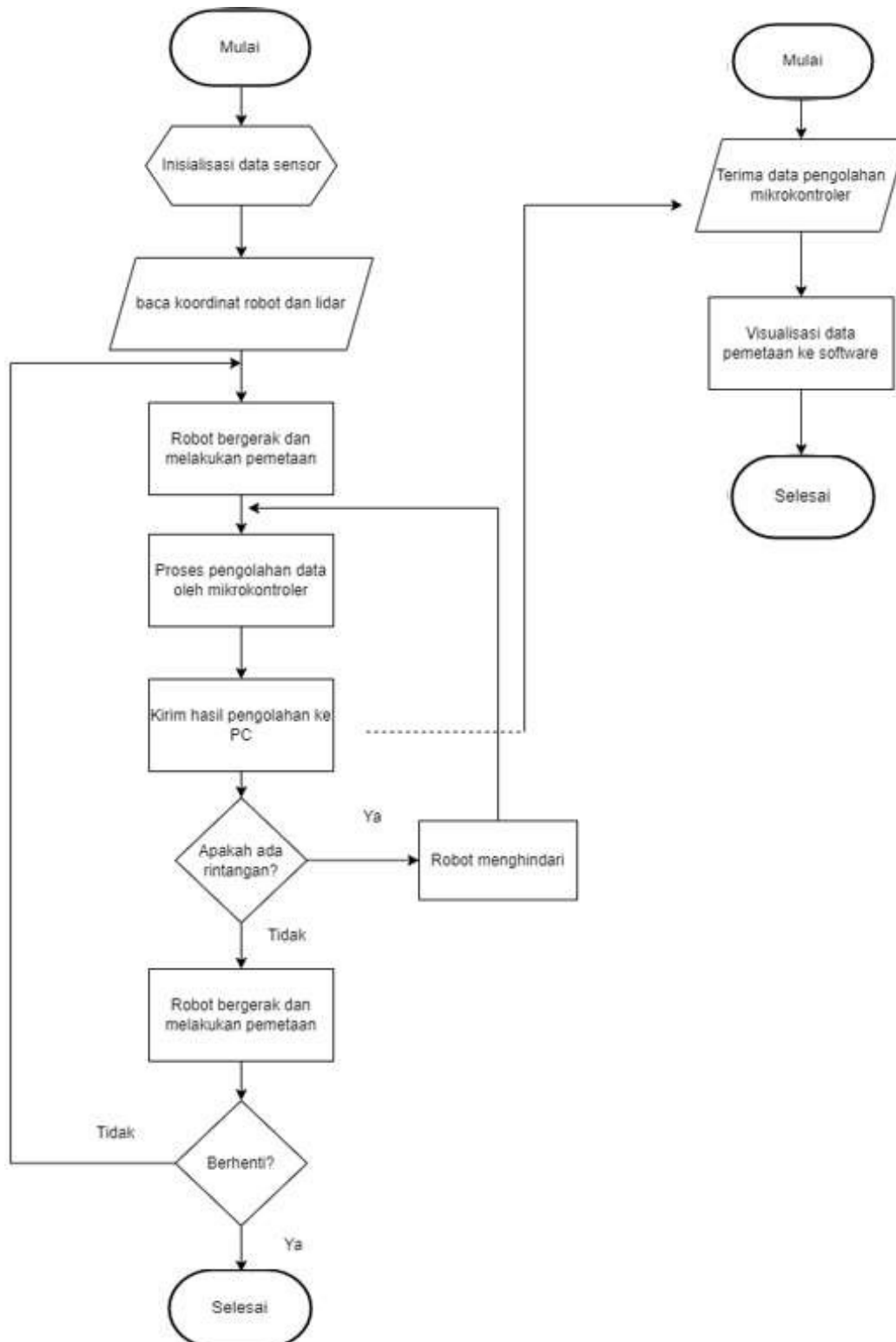
Rancang Hardware dan Software

Perancangan dari robot beroda memakai 3 prosesor kendali yang difungsikan sebagai sebuah master dan 2 buah *slave*. Perancangan dari piranti keras dideskripsikan dalam diagram blok pada Gambar 2 dan perancangan piranti lunak dideskripsikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Diagram Rancang Kelistrikan Robot

Gambar 2 merupakan diagram perancangan perangkat keras pada sistem dalam menunjukkan relasi antar komponen serta umpan balik pada sistem penggerak robot. Dimana masukan utama dari robot adalah sensor LiDAR yang diproses untuk menentukan arah gerak robot dengan menggunakan perhitungan *Odometry* untuk penggerak 3 roda. Hasil dari pergerakan robot akan dibaca dengan *rotary encoder* sebagai *feedback* pada perhitungan kendali berikutnya.



Gambar 3. Diagram Alir Program Utama Robot Pemetaan Ruangan

Gambar 3 menampilkan diagram alir perancangan *software* dari robot beroda dan perancangan proses pengambilan data pada komputer. Data yang dihasilkan dari sensor LiDAR dan sensor dalam *rotary encoder* diproses oleh perangkat mikrokontroler dan kemudian hasil pengolahannya akan dikirim ke komputer dengan menggunakan modul RF24 sebagai media

pengirim data. Kemudian data akan ditampilkan dan disimpan pada microsoft excel dan diproses yang kemudian ditampilkan dalam wujud hasil pemetaan menggunakan bantuan *software* matlab.

3. Hasil dan Analisis

Bagian ini menjelaskan tentang uji yang sudah dilakukan terhadap sistem pemetaan robot. Tujuan dari pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui seberapa besar nilai deviasi atau error pada pergerakan dan pemetaan yang dilakukan oleh robot baik dari perhitungan odometri maupun pembacaan sensor LiDAR.



Gambar 4. Hasil perancangan robot pemetaan ruangan dengan penggerak 3 roda

Gambar 4. Merupakan gambar hasil dari perancangan yang masih dalam tahap *prototype* dengan menggunakan penggerak 3 roda sensor *Gyroscope*, LiDAR dan *rotary encoder* yang telah dipasang.

3.1. Pengujian Odometri

Bagian ini adalah uji yang sudah dilakukan untuk menghitung hasil perhitungan odometri dengan hasil pengukuran yang dilakukan dengan alat ukur pembanding. Pengukuran dilakukan dengan mengukur perubahan nilai dari koordinat kartesian dalam satuan cm.

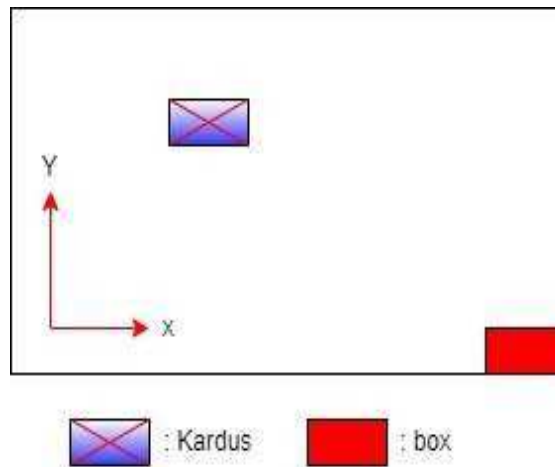
Tabel 1. Data Uji *Gyroscope* dan *Rotary Encoder*

No	Posisi sebenarnya		Posisi Terukur		Error	
	X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)
1	0	0	0	0	0	0
2	0	150	-8,8	152,57	8,8	-2,57
3	0	300	-20,86	310,64	20,86	-10,64
4	120	300	133,38	312,05	-13,38	-12,05
5	240	300	224,42	306,12	15,58	-6,12
6	240	150	238,02	157,19	1,98	-7,19
7	120	150	115,01	156,41	4,99	-6,41
8	120	0	130,22	-6,21	-10,22	6,21
RMSE					3,014875	-4,84625

Tabel 1 merupakan hasil dari pengujian *Odometry* dengan nilai *error* yang diukur menggunakan rumus *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 3,01 pada titik sumbu X serta sebesar -4,84 pada titik sumbu Y.

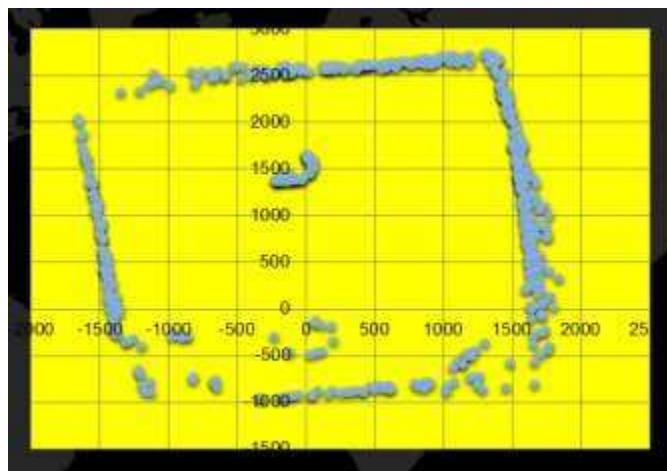
3.2. Pengujian Pemetaan

Pengujian pada penelitian ini dimulai dengan menggerakkan robot sejauh ±100 cm dari koordinat awal ke koordinat selanjutnya untuk menghitung data jarak dan sudut objek. Kemudian robot akan bergerak ke koordinat selanjutnya dan mengulangi proses tersebut sampai semua koordinat terlalui. Hasil data yang didapatkan berupa data dari pengukuran odometri dan data hasil pengukuran sensor LIDAR yang kemudian akan dihitung untuk mendapatkan hasil akhir pengujian.



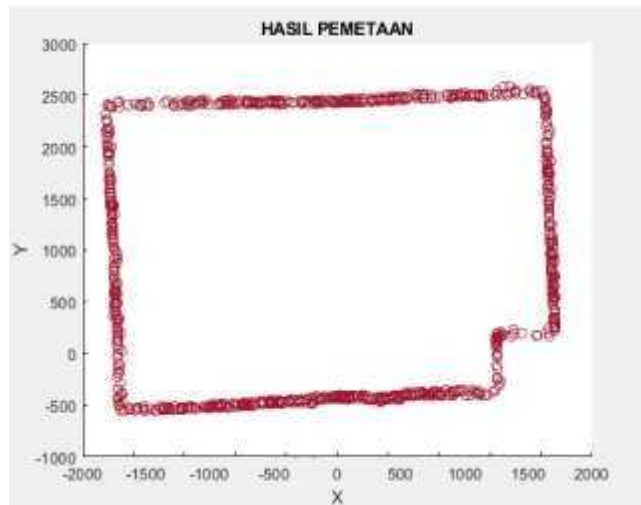
Gambar 5. Tata Letak Ruang Pengujian Robot

Gambar 5 di atas merupakan denah tata letak tempat pengujian robot dengan spesifikasi luas tempat uji 3x3 meter dengan yang dibatasi dengan menggunakan dinding dari papan. Pada pengujian ini terdapat 2 halangan yaitu kardus dan kotak yang diletakkan sesuai Gambar 5.



Gambar 6. Hasil Pembacaan *Rotary Encoder*

Pengaruh *error* dari *Odometry* terhadap hasil pemetaan terlihat pada Gambar 6. Untuk mengoreksi pemetaan dan mendapatkan hasil *error* pemetaan ruang, beberapa objek yang telah ditandai pada Gambar 6 dihilangkan. Hal ini bertujuan untuk memudahkan perhitungan nilai *error* RSM serta hasil dari koreksi proses pemetaan dapat dilihat melalui Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Pemetaan Setelah Dikurangi dengan *Error* Pembacaan Odometry

Perhitungan nilai *error* dilakukan menggunakan rumus *Root Mean Square Error* (RMSE) dengan menghitung hasil dari selisih antara titik sumbu x dan titik sumbu y dibandingkan dengan koordinat sumbu x serta y yang diukur dengan sensor. Dari perhitungan tersebut diperoleh *error* -6,932 cm melalui sumbu x dan -1,41 melalui sumbu y dari hasil perhitungan pemetaan dengan ruangan uji yang dipakai.

Tabel 2. Hasil Rata-Rata *Error* Pembacaan Jarak Pemetaan

No	Jarak sebenarnya (mm)	Jarak Baca (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	130	131	1	0.76
2	385	387	2	0.52
3	440	440	0	0.00
4	690	693	3	0.43
5	995	995	0	0
6	1290	1300	10	0.77
7	1580	1600	20	1.25
8	1860	1908	48	2.52
9	2160	2200	40	1.82
10	2460	2500	40	1.60
11	2780	2823	43	1.52
12	3090	3115	25	0.80
13	2910	2940	30	1.02
14	3365	3400	35	1.03
15	3380	3458	78	2.26
16	3685	3700	15	0.41
RMSE			32,5	1.04

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa rata-rata hasil pembacaan pada robot adalah 1,04% dengan menggunakan pengujian sensor dari jarak 130mm – 3685mm.

4. Kesimpulan

Melalui uji yang sudah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk mendapatkan hasil pemetaan yang baik dengan menggunakan sensor LiDAR, diperlukan penggabungan perhitungan hasil dari sensor LIDAR dan data perhitungan dari *Odometry*. Hasil pemetaan yang telah dilakukan dengan pengujian pada jarak 130-2685 mm dihasilkan pembacaan *Odometry* dari sensor dalam *Gyroscope* dan sensor *rotary encoder* diperoleh nilai *error* RMSE 13.40 cm pada titik sumbu x dan sebesar 10.63 cm pada titik sumbu y. Sedangkan nilai *error* RMSE pemetaan yaitu sebesar -6.932 cm pada koordinat titik x dan sebesar -1.41 cm pada koordinat titik y. Sedangkan hasil dari penggabungan semua sensor dapat diperoleh hasil yang lebih optimal yaitu error sebesar 1,04 %

Referensi

- [1] Prayoga S, Budianto A, Atmaja AB. Sistem Pemetaan Ruang 2D Menggunakan Lidar. *Jurnal Integrasi*. 2017 Apr 28;9(1):73-9.
- [2] Sunandar I, Syarifudin D. LiDAR: Penginderaan jauh sensor aktif dan aplikasinya di bidang kehutanan. *Jurnal planologi unpas*. 2014;1(2):145-54.
- [3] Hecht J. Lidar for self-driving cars. *Optics and Photonics News*. 2018 Jan 1;29(1):26-33.
- [4] Andara G, Arseno D, Armi N. Analisis Kinerja Light Detecting And Ranging (Lidar) Untuk Deteksi Objek Menggunakan Metode Jarak Eculidean. *eProceedings of Engineering*. 2020 Dec 1;7(3).
- [5] Markom MA, Adom AH, Tan ES, Shukor SA, Rahim NA, Shakaff AY. A mapping mobile robot using RP Lidar scanner. In 2015 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS) 2015 Oct 18 (pp. 87-92). IEEE.
- [6] Philippsen R. Motion planning and obstacle avoidance for mobile robots in highly cluttered dynamic environments. EPFL; 2004.
- [7] Luo RC, Lai CC. Indoor mobile robot localization using probabilistic multi-sensor fusion. In 2007 IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts 2007 Dec 9 (pp. 1-6). IEEE.
- [8] Guo Q, Ma L, Wu H. LiDAR-based indoor mapping and navigation for mobile robots. *IEEE Trans Autom Sci Eng*. 2019;16(1):139-151
- [9] Rabbani T, van den Heuvel FA, Vosselman G. Segmentation of point clouds using smoothness constraint. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*. 2016;115:60-75.