

Pemetaan Ruang Dua Dimensi Menggunakan Sensor Lidar 360 Derajat Pada Mobile Robot

Adib Nur Ranaminanta, Dedi Nurcipto, M Ary Heryanto

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, Indonesia
Jl. Nakula Raya no 5-11 Semarnag / Universitas Dian Nuswantoro
E-mail:dedi.nurcipto@dsn.dinus.ac.id

Naskah Masuk: 13 Januari 2022; Diterima: 21 Februari 2022; Terbit: 25 Maret 2022

ABSTRAK

Abstrak - Sensor lidar sering diterapkan pada kendaraan dan robot untuk mengetahui jarak pada objek sekitar. Pada sensor lidar 360° sudut pengambilan data dapat dilakukan pada satu putaran penuh, sehingga pada sensor lidar jenis ini dapat menampilkan antarmuka objek sekeliling 360°. Pada penelitian ini peneliti mencoba mengambil data objek ruang menggunakan sensor Lidar 360° yang diterapkan pada *mobile* robot untuk memperkirakan ukuran ruang. Namun, untuk mengukur sebuah ruang secara penuh yang tidak terjangkau oleh sensor diperlukan pembacaan odometri pada robot. Pada penelitian ini membahas mengenai pembacaan sensor *gyroscope* dan *rotary encoder* untuk memperoleh titik x dan y pada robot. Dan membahas tentang pemetaan dari sensor lidar menggunakan data x dan y yang telah diperbarui menggunakan data pengolahan sensor *gyroscope* dan *rotary encoder*. Hasil dari penelitian ini diperoleh pembacaan odometri dari sensor *gyroscope* dan *rotary encoder* diperoleh *Root Mean Square Error* 13.40 cm pada sumbu x, 10.63 cm pada sumbu y, dan hasil pemetaan yang telah dilakukan diperoleh *Root Mean Square Error* sebesar 8,42 cm pada koordinat x dan 5,69 cm pada koordinat y.

Kata kunci: Pemetaan, Lidar, Odometri, Gyroscope, Rotary Encoder

ABSTRACT

Abstract - Lidar sensors are often applied to vehicles and robots to determine the distance to surrounding objects. On the 360° lidar sensor the data retrieval angle can be carried out in one full rotation, so that this type of lidar sensor can display an object interface around 360°. In this study, researchers tried to retrieve space object data using a 360° Lidar sensor which was applied to a *mobile* robot to estimate the size of the space. However, to measure a space in full that is not reached by the sensor, it is necessary to read the odometry on the robot. This study discusses the gyroscope sensor and rotary encoder to obtain x and y points on the robot. And discusses the mapping of the lidar sensor using the x and y data that have been committed to using the gyroscope sensor and rotary encoder data processing. The results of this study obtained that odometry readings from the gyroscope sensor and rotary encoder obtained a *Root Mean Square Error* of 13.40 cm on the x-axis, 10.63 cm on the y-axis, and the results of the mapping that had been carried out obtained a *Root Mean Square Error* of 8.42 cm at the x-coordinate and 5.69 cm at the y-coordinate.

Keywords: Mapping, Lidar, Odometry, Gyroscope, Rotary.

Copyright © 2022 Universitas Muhammadiyah Jember.

1. PENDAHULUAN

Sistem pemetaan dan pendeteksian banyaknya objek pada suatu ruangan biasanya dilakukan oleh petugas yang terjun langsung melakukan pengukuran secara manual ke dalam ruangan. Maka dari itu, dibutuhkan teknologi yang canggih untuk membantu petugas dalam melakukan pemetaan dan pendeteksian beberapa objek pada suatu ruangan. Salah satu teknologi yang dapat mengatasi masalah tersebut adalah *Light Detection and Ranging* [1]. *Light Detection and Ranging* (LIDAR) merupakan sensor *range finder* yang bekerja dengan memancarkan dan menangkap cahaya untuk memperoleh data berupa jarak dan informasi suatu objek. LIDAR adalah salah satu teknologi pengindraan jauh yang sangat berpotensi untuk membantu (memetakan, memonitor, dan menaksir lokasi-lokasi unsur spasial) banyak bidang/aplikasi terkait penyediaan basis data geospasial [2]. Sensor lidar dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang. Seperti halnya diterapkan pada bidang militer, eksplorasi, pencarian dan pelacakan, pemetaan dan perhutanan. Pada bidang kehutanan, lidar berpotensi untuk mendukung beberapa kegiatan kehutanan mulai

dari inventarisasi pohon, mengukur struktur vertikal pohon dan mengestimasi stok karbon yang ada di hutan [3]. Dan juga pada pengaplikasian dibidang robot dan teknologi terbaru, lidar diterapkan pada kendaraan. Seperti pada pengendali otomatis *Unmanned Surface Vehicle* yang dilengkapi sistem penghindar halangan menggunakan LIDAR [4]. Sistem kerja LIDAR adalah dengan memancarkan pulsa berupa sinar pendek yang dapat dikontrol dan terfokus akurat, sehingga lidar dapat memetakan lingkungan statis serta mendeteksi dan mengidentifikasi kendaraan yang bergerak, pejalan kaki dan satwa liar.

Perusahaan pengembang kendaraan *self-driving* telah menanamkan sensor lidar pada kendaraan yang mereka kembangkan. Teknologi terbarunya yaitu mulai tahun 2017 menggunakan sensor lidar dengan range sensor 200 meter dalam mendeteksi objek yang sebelumnya hanya beberapa puluh meter saja. Lidar yang digunakan yaitu tipe 3D (Tiga Dimensi) yang dapat melakukan atau mendeteksi objek dalam bentuk 3 dimensi dengan memancarkan pulsa pendek pada sinar yang dapat dikendalikan dan terfokus dengan akurat, mengukur jutaan titik per-detik [5].

Sensor lidar selain digunakan sebagai sensor navigasi juga dapat digunakan sebagai pemetaan. Pemetaan membantu dalam hal lokalisasi dengan menunjukkan posisi target atau objek di area dimana objek itu berada. Dan dapat membantu menggambarkan lingkungan atau denah lantai. Akurasi sensor menjadi masalah utama dalam pemetaan. Biasanya, pemetaan menggunakan sensor kamera, laser range finder, ultrasonik, dan Kinect. Sensor ini memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing. Beberapa penelitian telah menggunakan *laser range finder* di sistem mereka untuk beberapa aplikasi. Seperti penelitian yang dilakukan R. Wong menggunakan *laser range finder Sick LMS200* di lingkungan yang tak beraturan dan dinamis [6]. Dan juga penelitian yang dilakukan oleh Rolland Phillipsen menggunakan *laser range finder Sick* untuk menghindari rintangan, perencanaan gerak, dan untuk kendali navigasi robot [7]. Dari beberapa penelitian telah dilakukan, penggunaan *laser range finder* memberikan data yang akurat dibandingkan dengan ultrasonik maupun inframerah [8].

Pada berbagai bidang sensor lidar digunakan sebagai navigasi dengan hasil pemetaan. Sehingga, pada penelitian ini peneliti menerapkan sensor *Light Detection and Ranging (LIDAR)* di *mobile robot* dengan hasil pemetaan dalam ruang berupa visualisasi pemetaan Dua Dimensi (2D) dengan menggunakan sensor lidar yang memiliki sudut pandang 360°. Keunggulan penelitian yang ditawarkan dari penelitian yang pernah ada yaitu mapping indoor otomatis dengan menerapkan sensor lidar pada *mobile robot*. Kemudian sensor lidar menangkap seluruh objek yang dilewati *mobile robot* dengan sudut pandang 360° dan memvisualkan kedalam peta ruang 2D. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh hasil pemetaan dua dimensi (2D) pada ruangan. Untuk melakukan pemetaan ruang, robot bergerak dari titik satu ke titik yang lain dikarenakan jarak objek melebihi jarak pengambilan data sensor pemetaan. Sehingga diperlukan pembacaan odometri. Pada manuskrip ini penulis membahas tentang pemetaan 2D lidar. Pada bagian dua dibahas tentang pemetaan mulai dari sensor yang digunakan, mekanika gerak robot, dan model persamaan yang digunakan pada pemetaan. Pada bagian tiga dibahas mengenai rancang bangun robot dan rancang bangun hardware dan software. Selanjutnya pada bagian empat dibahas tentang hasil dari pengujian mulai dari pengujian odometri hingga pengujian pemetaan. Bagian terakhir merupakan hasil kesimpulan dari penelitian ini.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 RP Lidar

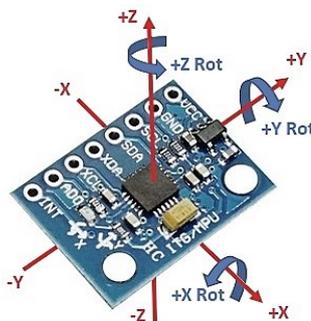
Pemetaan dapat digambarkan sebagai proses untuk menggambarkan lingkungan berdasarkan informasi di sekitarnya yang diwakili dalam gambar grafis. Pada penelitian ini, pemetaan dilakukan menggunakan sensor lidar 360°. Sensor yang digunakan pada penelitian ini yaitu RP Lidar A1 yang merupakan oleh SLAMTEC dengan menghasilkan pemetaan 2D. Sensor dapat melakukan pemindaian 360° dalam jarak enam meter dan menerapkan 5.5Hz sensor lidar dapat mengambil 360 sampel setiap putaran [9]. RP Lidar mengukur jarak berdasarkan prinsip triangulasi laser dan menggunakan akuisisi pancaran sinar berkecepatan tinggi. Secara mekanis, ia memancarkan sinyal laser inframerah termodulasi dan sinyal laser kemudian dipantulkan oleh objek yang akan dideteksi. Sinyal kembali diambil sampelnya dengan sistem akuisisi visi dalam RP Lidar. Kemudian, *Digital Signal Processor (DSP)* yang tertanam dalam RP Lidar mulai memproses data sampel dan keluar dengan jarak dan nilai sudut objek dari RP Lidar melalui antarmuka komunikasinya.



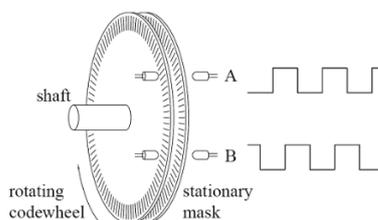
Gambar 1. Sensor RP lidar

2.2 Odometri

Odometri adalah penggunaan data dari pergerakan aktuator untuk memperkirakan perubahan koordinat posisi dari waktu ke waktu [10]. Pada penelitian ini odometri digunakan pada robot beroda dan odometri dilakukan menggunakan putaran dari roda yang posisinya sudah diketahui secara pasti menggunakan *rotary encoder* sedangkan untuk odometri rotasi robot dilakukan menggunakan sensor *gyroscope* yang posisi awalnya sudah diketahui [11]. *Gyroscope* adalah suatu perangkat yang dapat mengukur dan mempertahankan orientasi berdasarkan prinsip momentum sudut [12]. *Gyroscope* yang digunakan pada penelitian ini yaitu MPU6050 menggunakan 6 orientasi sumbu gerak, yang ditunjukkan oleh Gambar 2 [13]. Sedangkan *rotary encoder* digunakan untuk mengukur kecepatan sudut. Rotari *encoder* yang digunakan berupa *Incremental encoder* yang terdiri dari *double track* atau *single track* dan dua sinyal output A dan B, yang dapat mengeluarkan sinyal pulse (*quadrature*) ketika poros *encoder* berputar. Frekuensi gelombang persegi menunjukkan kecepatan rotasi poros, sedangkan hubungan fase A-B menunjukkan arah rotasi. Dengan menghitung jumlah pulsa yang terjadi terhadap resolusi piringan maka putaran dapat diukur [14]. Untuk mengetahui arah putaran, dengan mengetahui *channel* mana yang leading terhadap *channel* satunya dapat kita tentukan arah putaran karena kedua *channel* selalu berbeda fasa seperempat putaran (*quadrature signal*). *Rotary encoder* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *rotary* yang bertipe general dengan 400ppr (*pulse per rotation*) A dan B phase ditunjukkan pada gambar 3.



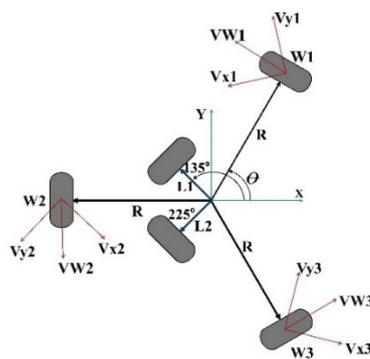
Gambar 2. MPU6050 dengan 6 orientasi sumbu gerak



Gambar 3. Rotari *encoder*

2.3 Mekanika Robot

Pada penelitian ini robot didesain mengguna 3 motor dan roda penggerak agar robot dapat bergerak kesegala arah. Dan menggunakan 2 buah rotari *encoder*. Robot didesain dapat bergerak ke segala arah dengan memanfaatkan desain robot 3 roda omni dengan jarak roda dari titik pusat ribot $R1=R2=R3$ dan jarak tiap sudut roda penggerak yaitu 120° dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Perancangan Mekanik Gerak robot

Untuk menentukan arah gerak robot digunakan persamaan 1:

$$\begin{bmatrix} V_{wx} \\ V_{wy} \\ V_{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos \theta & -\cos \theta & 1 \\ \sin \theta & -\sin \theta & 0 \\ 1/R & 1/R & 1/R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} vw1 \\ vw2 \\ vw3 \end{bmatrix} \tag{1}$$

Dimana :

- V_{wx} = Arah gerak robot pada sumbu x
- V_{wy} = Arah gerak robot pada sumbu y
- θ = Jarak sudut dari sumbu 0°
- $vw1, vw2, vw3$ = Kecepatan putaran roda
- R = Jarak roda dari titik pusat

2.4 Menghitung Odometri

Sistem odometri dirancang menggunakan dua *rotary encoder* yang menghasilkan 400 pulsa setiap satu putaran penuh, dan modul sensor *gyroscope* MPU6050 yang digunakan sebagai sudut gerak robot. Dua buah *rotary encoder* dipasang pada roda omni dengan masing-masing pemasangan sudut roda yaitu 135° dan 225° . Sedangkan untuk memperoreh sudut robot memanfaatkan sumbu yaw pada modul sensor MPU6050. Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos (225^\circ + \theta) & -\cos (135^\circ + \theta) \\ -\sin (225^\circ + \theta) & -\sin (135^\circ + \theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 R_1 \\ \omega_2 R_2 \end{bmatrix} \tag{2}$$

Dimana:

- x, y = Pembacaan kecepatan arah pada posisi x dan y
- θ = Sudut yang diperoleh dari sensor *gyroscope*
- $\omega_1 R_1$ = ω_1 kecepatan sudut *rotary encoder* 1, R_1 jari-jari *rotary encoder* 1
- $\omega_2 R_2$ = ω_2 kecepatan sudut *rotary encoder* 2, R_2 jari-jari *rotary encoder* 2

Untuk memperoleh posisi x dan y dari robot diperoleh melalui proses penjumlahan integral dari kecepatan arah x dan y dengan persamaan sebagai berikut:

$$x = \sum_{i=1}^n x_i \tag{3}$$

$$y = \sum_{i=1}^n y_i \tag{4}$$

2.5 Menghitung Koordinat Pemetaan

Pada penelitian ini penggunaan sensor disimulasikan menjadi maksimal jarak pembacaan 2 meter agar pengambilan data tidak membutuhkan ruang yang luas. Data yang diperoleh dari sensor lidar berupa sudut θ dan jarak, sehingga untuk mejadikan data pemetaan maka data harus dirubah ke dalam bentuk koordinat dengan menggunakan posisi robot dalam koordinat kartesian. Untuk setiap sudut dan jarak, posisi x dan posisi y dari rintangan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

(i) Konversi dari derajat ke radian

$$\theta_{\text{rad}} = \theta_{\text{deg}} * \frac{\pi}{180} \quad (5)$$

(ii) Mencari nilai x dan y

$$\begin{aligned} x_1 &= d * \cos(\theta_{\text{rad}}) \\ y_1 &= d * \sin(\theta_{\text{rad}}) \end{aligned} \quad (6)$$

Dimana:

d = Jarak objek

θ_{rad} = Sudut lokasi di radian

θ_{deg} = Sudut derajat.

x_1 = Posisi dalam sumbu x, posisi lokasi laser atau robot bergerak

y_1 = Posisi dalam sumbu y, posisi lokasi laser atau robot bergerak

2.6 Pembaruan Koordinat Pemetaan

Untuk memetakan ruang yang tidak terjangkau oleh sensor, maka di perlukan data posisi terbaru ketika robot bergerak. Data yang diperlukan yaitu sudut robot terbaru dan posisi robot pada koordinat x dan y terbaru yang telah ketahui menggunakan odometri. Kemudian untuk memperoleh pemetaan ruang secara penuh digunakan model persamaan berikut:

$$\begin{aligned} X &= x_1 + x \\ Y &= y_1 + y \end{aligned} \quad (7)$$

Dimana:

X = Posisi objek pada koordinat x

Y = Posisi objek pada koordinat y

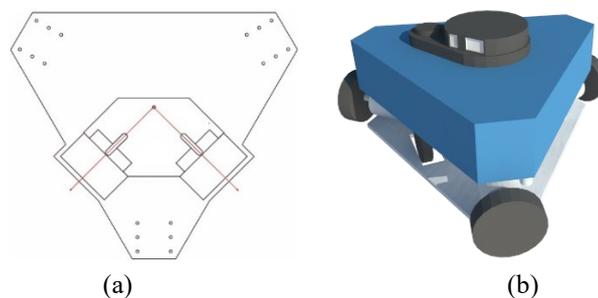
x, y = Diperoleh dari pembacaan odometri

3. METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai rancang bangun robot mulai dari rancang bangun mekanis, pembuatan sistem odometri menggunakan *rotary encoder* dan *gyroscope*, pengolahan lidar 360° hingga rancang bangun hardware dan software meliputi pengambilan dan pengolahan data sensor *gyroscope*, *rotary encoder* dan sensor lidar 360° yang dipasangkan pada robot untuk memperoleh peta 2D (Dua Dimensi).

3.1 Rancang Bangun Robot

Pada penelitian ini robot didesain mengguna 3 motor dan roda penggerak agar robot dapat bergerak kesegala arah. Dan menggunakan 2 buah rotari *encoder*. Penampakan robot dapat dilihat pada gambar 5.



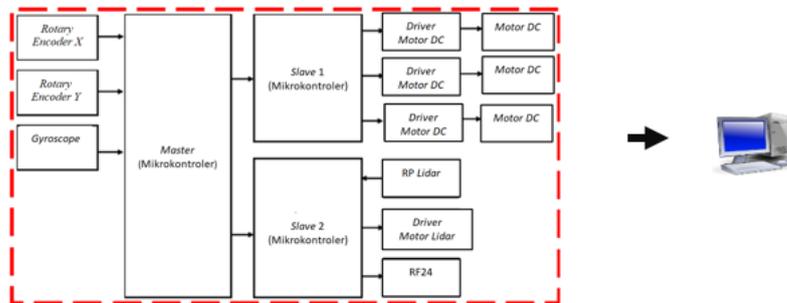
Gambar 5. (a) desain base robot, (b) desain robot

Peletakan aktuator dan *rotary encoder* berada pada bagian paling bawah. Sedangkan untuk *hardware* mikrokontroler, driver motor sensor *gyroscope*, dan sensor RF24 berada pada badan robot yang ke 2 sesuai pada gambar 3.1. Sedangkan posisi sensor Lidar berada pada bagian paling atas berfungsi untuk

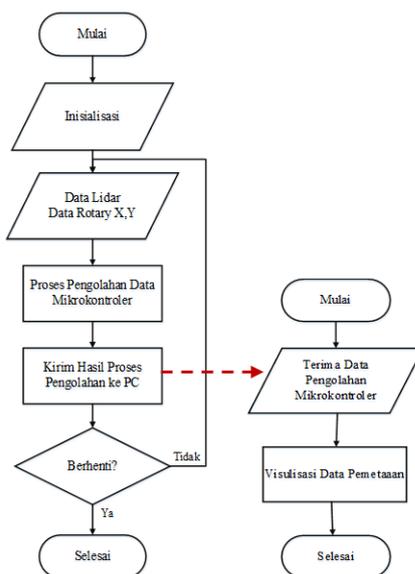
menghindari pembacaan data yang tidak diinginkan seperti kabel maupun *hardware* lain yang menghalangi pembacaan sensor.

3.2 Rancang *Hardware* dan *Software*

Perancangan *mobile* robot menggunakan 3 mikrokontroler sebagai master dan slave. Perancangan perangkat keras digambarkan menggunakan diagram blok seperti pada gambar 6 dan perancangan perangkat lunak digambarkan pada gambar 7.



Gambar 6. Perancangan *hardware*



Gambar 7. Perancangan *software*

Gambar 7 menunjukkan *flowchart* dari perancangan *software* pada robot dan perancangan *software* pada komputer. Data sensor RP Lidar A1 dan data sensor *rotary encoder* diolah oleh mikrokontroler dan hasil pengolahannya dikirim ke PC melalui gelombang radio menggunakan modul RF24. Kemudian data ditampung pada *Microsoft excel* dan diolah untuk ditampilkan berupa hasil pemetaan menggunakan *software matlab*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang pengujian sistem yang telah dikembangkan. Bab ini bertujuan untuk mengetahui apakah permasalahan dapat terselesaikan apa tidak. Pengujian yang dilakukan pada bab ini meliputi pengujian odometri menggunakan *rotary encoder*, dan *gyroscope* dan pengujian pemetaan.

4.1 Pengujian Odometri

Pengujian dilakukan untuk mengetahui akurasi sensor dengan cara mengubah koordinat robot dari titik (0,0) ketitik tertentu, kemudian dilanjut ketitik berikutnya hingga kembali ketitik awal (0,0). Data yang dihasilkan kemudian pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 1. hingga didapat nilai *Root Mean*

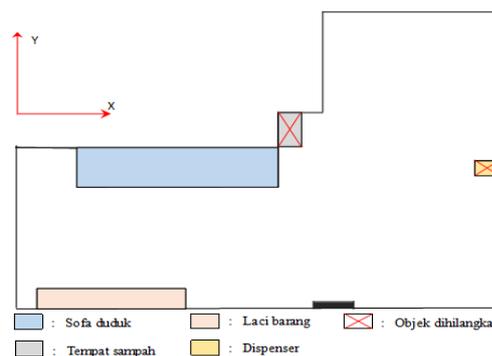
Square Error (RMSE) sebesar 13,40 pada sumbu X dan 10,63 pada sumbu Y. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data pengujian *gyroscope* dan *rotary encoder*

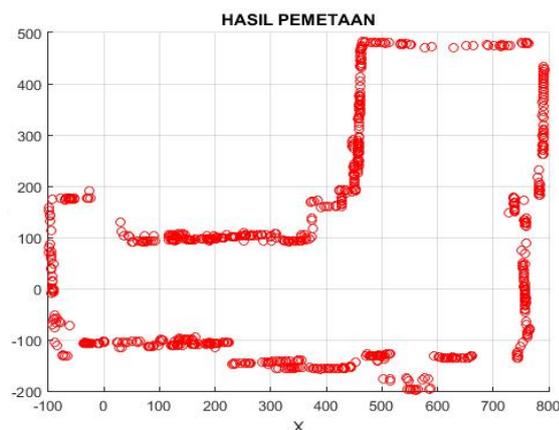
No	Posisi Sebenarnya		Posisi Sebenarnya		Error	
	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)
1	0	0	0	0	0	0
2	150	0	152,57	-8,8	-2,57	8,8
3	330	0	335,38	-20,86	-5,38	20,86
4	330	120	345,04	133,38	-15,04	-13,38
5	330	240	354,15	224,42	-24,15	15,58
6	150	240	167,19	238,02	-17,19	1,98
7	150	120	167,41	115,01	-17,41	4,99
8	150	0	160,91	-6,21	-10,91	6,21
9	0	0	7,47	-3,95	-7,47	3,95
RMSE					13,40981	10,63186

4.2 Pengujian Pemetaan

Pengujian dilakukan dengan cara robot bergerak ±2-meter dari satu titik ke titik lain untuk mengambil data jarak dan sudut pada objek. Kemudian untuk memperoleh posisi objek ketika robot berpindah posisi yaitu dengan menjumlahkan hasil koordinat yang diperoleh melalui odometri dengan koordinat yang diperoleh oleh sensor lidar.



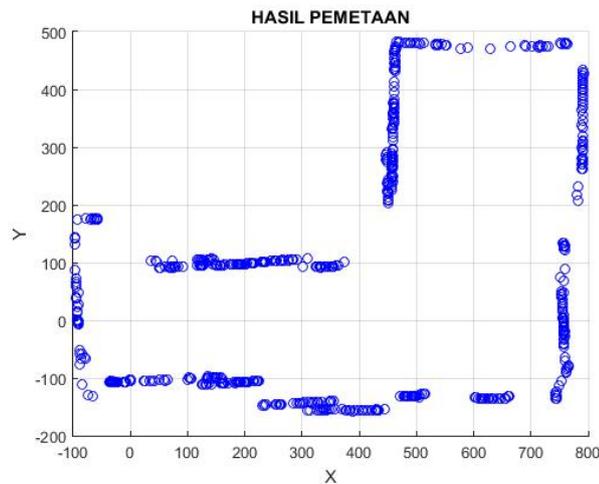
Gambar 8. Rencana pengambilan data pemetaan



Gambar 9. Hasil pemetaan

Error yang dihasilkan dari odometri mempengaruhi hasil pemetaan. Sehingga pembacaan sensor mengalami pergeseran hal ini dapat dilihat pada gambar 9. Untuk memperoleh hasil *error* dari pemetaan ruang perlu dilakukan korekse pemetaan dengan cara menghilangkan beberapa objek tertentu yang telah

ditandai pada gambar 8. Tujuannya untuk mempermudah dalam perhitungan error RSM sehingga hasil koreksi pemetaan ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil pemetaan

Perhitungan *Root Square Mean Error* (RSME) dilakukan dengan cara mencari selisih antara koordinat x, y sebenarnya dengan koordinat x, y yang terukur. Sehingga diperoleh error 8,42 cm pada koordinat x dan 5,69 cm pada koordinat y hasil dari pemetaan ruang.

5. KESIMPULAN

Dari Pengujian pada penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil kesimpulan bahwa pemetaan dapat dilakukan dengan menggunakan sensor lidar dan untuk memetakan ruang secara penuh diperlukan perhitungan odometri dengan cara menjumlahkan hasil koordinat yang diperoleh melalui odometri dengan koordinat yang diperoleh sensor lidar. Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) odometri sebesar 13,40 pada sumbu X dan 10,63 pada sumbu Y, dan hasil pemetaan yang telah dilakukan diperoleh *error* menggunakan RSME yaitu 8,42 cm pada koordinat x dan 5,69 cm pada koordinat y.

REFERENSI

- [1] C. R. Adhesive, “尿素 - 双醛淀粉 - 甲醛共缩聚树脂胶黏剂的制备与性能表征 1 2 3,” vol. 34, no. 4, pp. 2–8, 2020.
- [2] I. Maulana, A. Rusdinar, and R. A. Priramadhi, “Aplikasi Lidar Untuk Pemetaan Dan Navigasi Pada Lingkungan Tertutup Lidar Application for Mapping and Navigating on Closed,” *e-Proceeding Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [3] I. Sunandar and D. Syarifudin, “LiDAR : PENGINDERAAN JAUH SENSOR AKTIF DAN APLIKASINYA DI BIDANG KEHUTANAN,” *J. Planol. Unpas*, vol. 1, no. 2, p. 145, 2014, doi: 10.23969/planologi.v1i2.736.
- [4] M. Fikri and M. Rivai, “Sistem Penghindar Halangan Dengan Metode LIDAR Pada Unmanned Surface Vehicle,” vol. 8, no. 2, pp. 127–132, 2019.
- [5] J. Hecht, “Lidar for Self-Driving Cars,” no. January, pp. 26–33, 2018.
- [6] M. A. Markom, A. H. Adom, E. S. M. M. Tan, S. A. A. Shukor, N. A. Rahim, and A. Y. M. Shakaff, “A mapping mobile robot using RP Lidar scanner,” no. October, pp. 87–92, 2016, doi: 10.1109/iris.2015.7451592.
- [7] R. Philippsen, “Motion planning and obstacle avoidance for mobile robots in highly cluttered dynamic environments,” *PhD Thesis*, vol. 3146, 2004, [Online]. Available: <http://infoscience.epfl.ch/record/33615>.
- [8] R. C. Luo and C. L. Chun, “Indoor mobile robot localization using probabilistic multi-sensor fusion,” *Proc. IEEE Work. Adv. Robot. its Soc. Impacts, ARSO*, no. January 2008, 2007, doi: 10.1109/ARSO.2007.4531415.
- [9] L. SHANGHAI SLAMTEC CO., “Rplidar a1,” pp. 1–16, 2009.
- [10] F. Fahmizal, D. U. Rijalussalam, M. Budiyanto, and A. Mayub, “Trajectory Tracking pada Robot Omni dengan Metode Odometry,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 8, no. 1, p. 35, 2019, doi: 10.22146/jnteti.v8i1.488.

- [11] A. Rachmawan, "Penentuan Posisi Robot Sepak Bola Beroda Menggunakan Rotary Encoder dan Kamera," *Undergrad. thesis, Jur. Tek. Elektro, Fak. Teknol. Ind. Inst. Teknol. Sepuluh Nopember, Surabaya*, 2017.
- [12] M. S. Hadi, P. A. Nugroho, R. H. Abdillah, T. W. Putri, and M. S. Huda, "Sistem stabilisator kamera menggunakan sensor gyroscope dan kontroler PID," *Tekno*, vol. 29, no. 1, p. 75, 2019, doi: 10.17977/um034v29i1p75-85.
- [13] R. C. Cholakian, "Narrative structure in rabelais and the question of the authenticity of the cinquieme livre," *Fr. Stud.*, vol. 33, no. 1, pp. 1–12, 1979, doi: 10.1093/fs/XXXIII.1.1.
- [14] I. Akbar, N. Ismail, and T. D. Rachmilda, "Rancang Bangun Pendeteksi Posisi Sudut dan Kecepatan Sesaat Dengan Menggunakan Rotary Encoder KY-040," no. November 2020, pp. 287–293, 2020.