

SISTEM PEMETAAN PADA KURSI RODA AUTONOMOUS MENGGUNAKAN SENSOR LiDAR A1M1

MAPPING SYSTEM OF AUTONOMOUS WHEELCHAIR WITH SENSOR LiDAR A1M1

Risna Septisari¹, Angga Rusdinar², Irwan Purnama³

Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

risnasari@telkomuniversity.ac.id, anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id,

irwanp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Adanya batasan kemampuan secara fisik dan mental, penyandang disabilitas memiliki kemungkinan untuk menggunakan kursi roda dalam membantu pergerakannya [1]. Kursi roda pada umumnya terdapat 2 jenis diantaranya kursi roda manual dan kursi roda otonomus. Kursi roda manual adalah kursi roda yang pergerakannya masih dibantu oleh orang lain dalam mendorong kursi roda atau kursi roda manual bisa digerakkan dengan memutar roda yang ada di samping kanan dan kiri kursi roda. Sedangkan, kursi roda otonomus adalah kursi roda yang pergerakannya dibantu oleh kontroler berbentuk joystick dimana pengguna dapat bebas menggerakkan kursi roda dari satu tempat ke tempat yang lain. Kursi roda otonomus ini belum sepenuhnya menjadi otonomus dikarenakan kursi roda otonomus tersebut dalam perpindahannya masih di kontrol oleh kontroler yang mana diinginkan berupa fitur kursi roda tersebut dapat berjalan sendiri sesuai navigasi [2]. Untuk memenuhi fitur tersebut bagian pertama yang dibutuhkan adalah sistem pemetaan. Sistem pemetaan adalah sistem penggambaran atau pembacaan dari permukaan suatu objek yang diperkecil dengan menggunakan skala untuk mempresentasikan ukuran peta yang tergambar dengan ukuran peta sebenarnya [2]. Untuk mendapatkan penggambaran dari permukaan suatu objek perlu adanya sebuah sensor yang dapat membaca permukaan suatu objek. Salah satu sensor yang dapat menggambarkan sistem pemetaan 2 dimensi dengan baik adalah sensor LiDAR.

Dalam sistem pemetaan biasanya dinyatakan dengan menggunakan parameter jarak, sudut dan nilai x, y. Pada penelitian sistem pemetaan sebelumnya sistem pemetaan memiliki parameter dalam pembacaan sudutnya 0° hingga 0,5° pada jarak 0 – 1500 mm [3]. Dalam penelitian sistem pemetaan ini akan dibuat sistem pemetaan dengan pengukuran ruangan jarak ukur sejauh 1 meter hingga 5 meter dalam pembacaan sudut 0, 45, 90, 135, 180, -45, -90, -135, -180. Pada penelitian ini sensor LiDAR akan diletakkan pada titik tengah sebuah ruangan dalam keadaan diam dan tidak berpindah sehingga, sistem pemetaan ruangan mampu menggambarkan peta ruangan secara keseluruhan melalui bantuan *framework Robot Operating System* kemudian ditampilkan melalui *software Rviz*. Input untuk pembuatan peta berasal dari nilai jarak dan sudut pembacaan sensor LiDAR.

Hasil penelitian ini adalah didapatkannya sistem pemetaan 2 dimensi pada ruangan tertutup, beserta nilai jarak dalam satuan meter dan sudut dalam satuan derajat dengan nilai error sebesar 0.99% sebagai bukti bahwa sensor LiDAR merupakan sensor yang dapat berfungsi dengan baik dan diterapkan pada kursi roda otonomus.

Kata Kunci : Sensor LiDAR, Sistem Pemetaan.

Abstract

There are limitations on physical and mental abilities, people with disabilities have the possibility to use a wheelchair to help their movement [1]. There are generally 2 types of wheelchairs, including manual wheelchairs and autonomous wheelchairs. A manual wheelchair is a wheelchair whose movement is still assisted by others in pushing a wheelchair or a manual wheelchair can be moved by turning the wheels on the right and left of the wheelchair. Meanwhile, an autonomous wheelchair is a wheelchair whose movement is assisted by a joystick-shaped controller where users can freely move the wheelchair from one place to another. This autonomous wheelchair has not yet become fully autonomous because the autonomous wheelchair in its displacement is still controlled by the controller, which means that the wheelchair feature can run independently according to navigation [2]. To fulfill this feature, the first part needed is a mapping system. Mapping system is a system of depicting or reading from the surface of an object which is reduced by using a scale to present the size of the map drawn with the actual map size [2]. To get a depiction of the surface of an object, it is necessary to have a sensor that can read the surface of an object. One of the sensors that can describe the 2-dimensional mapping system well is the LiDAR sensor.

In a mapping system it is usually expressed using parameters of distance, angle and the values of x, y. In previous mapping system research, the mapping system had parameters in the angle reading of 00 to 0.50 at a distance of 0 - 1500 mm [3]. In this mapping system research, a mapping system will be made with the

measurement of a measuring distance of 1 meter to 5 meters in an angle reading of 0, 45, 90, 135, 180, -45, -90, -135, -180. In this study, the LiDAR sensor will be placed at the center point of a room in a stationary state and not moving so that the room mapping system is able to describe a map of the room as a whole through the help of the Robot Operating System framework then displayed through the Rviz software. The input for map creation comes from the distance and angle values of the LiDAR sensor reading.

The results of this study are the obtaining of a 2-dimensional mapping system in a closed room, along with distance values in meters and angles in degrees with the error value as much as 0.99 % prove that the LiDAR sensor is a sensor that can function properly and is applied to autonomous wheelchairs.

Keywords: LiDAR sensor, mapping system.

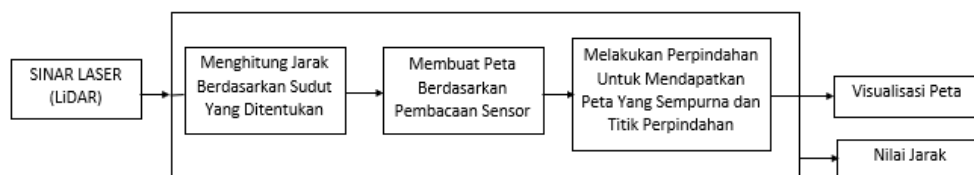
1. Pendahuluan

Adanya batasan kemampuan secara mental dan fisik dalam melakukan kegiatan dalam sehari-hari, penyandang disabilitas sering dibantu dengan kursi roda dimana dapat mengantarkan penyandang disabilitas dari satu tempat ke tempat lain [1]. Kursi roda terdapat banyak macamnya, yang umum diketahui yaitu kursi roda manual dan kursi roda otonomus. Kursi roda otonomus adalah kursi roda yang dapat berjalan tanpa ada bantuan orang lain melainkan dapat dikendalikan oleh penggunanya sendiri melalui kontroler sesuai dengan jalur yang ingin dilalui. Kursi roda otonomus ini belum sepenuhnya menjadi otonomus dikarenakan kursi roda otonomus tersebut dalam perpindahannya masih di kontrol oleh kontroler yang mana diinginkan berupa fitur kursi roda tersebut dapat berjalan sendiri sesuai arah navigasi. Untuk memenuhi fitur tersebut bagian pertama yang dibutuhkan adalah sistem pemetaan. Dimana sistem pemetaan adalah sistem penggambaran lingkungan keadaan sekitar yang diperkecil untuk merepresentasikan ukuran peta yang tergambar dengan ukuran yang sebenarnya [2]. Untuk mendapatkan sistem pemetaan butuh sensor yang dapat membaca keadaan lingkungan sekitar. Banyak sensor yang dapat melakukan fungsinya sebagai sensor pembaca sudut dan jarak, diantaranya rotary encoder, sr-hc04, sr-hf05, LiDAR, dan lain sebagainya. Salah satu sensor dengan tingkat akurasi dalam membaca keadaan lingkungan sekitar dengan baik adalah sensor LiDAR [4].

Cara kerja sensor LiDAR dengan menyebarkan sinar laser ke objek di keadaan lingkungan sekitar, kemudian sinar laser tersebut dipantulkan kembali ke sensor [5]. Berkas sinar yang kembali kemudian diolah oleh sensor LiDAR untuk mengetahui sudut beserta jarak dari sensor ke objek yang ada di lingkungan sekitar kemudian menghasilkan peta 2 dimensi. Dalam penelitian sistem pemetaan ini dibantu dengan *framework Robot Operating System* kemudian ditampilkan melalui *software Rviz* dimana *framework* dan *software* tersebut diproses penuh melalui terminal Ubuntu 18.04. Pada penelitian sebelumnya sistem pemetaan 2 dimensi yang dilakukan menggunakan sensor LiDAR dengan jarak 0 – 1500 mm pada sudut 0 – 0,5 derajat [3]. Dalam penelitian tersebut pembacaan jarak 0 – 1500 mm pada sudut 0 – 0,5 derajat terbilang kurang baik jika diterapkan pada kursi roda otonomus karena kursi roda otonomus ini akan digunakan oleh penyandang disabilitas yang mana butuh jangkauan jarak yang jauh dan pembacaan sudut yang cukup lebar untuk membantu pergerakannya. Kekurangan tersebut mendorong penulis untuk melakukan penelitian sistem pemetaan menggunakan sensor LiDAR dengan jarak ukur 1 – 5 m pada sudut 0, 45, 90, 135, 180, -0, -45, -90, -135, 180 derajat.

2. Dasar Teori

2.1 Prinsip Ide



Gambar 2. 1 Prinsip Ide

Sistem pemetaan yang akan diimplementasikan pada kursi roda menggunakan sensor LiDAR ini merupakan sebuah sistem yang dapat membuat peta untuk keperluan navigasi dari perpindahan kursi roda ke tempat tujuan.

Proses kerja dari sistem ini:

a. Penginstalan Ubuntu 18.04

Penginstalan Ubuntu 18.04 sebagai *operating system* untuk menjalankan proses pemetaan.

b. Penginstalan Robot Operating System

Penginstalan Robot Operating System yang digunakan adalah tipe Melodic menyesuaikan dengan sistem operasi yang digunakan pada laptop. Robot Operating System adalah sebuah meta-operating system atau *framework* yang bersifat open source yang dapat digunakan untuk robot. Robot Operating System hanya dapat dijalankan secara keseluruhan pada sistem operasi Linux, namun dapat di install di Windows dalam bentuk exe. Pada penelitian ini digunakan tool Rviz untuk menampilkan GUI dari Robot Operating System yang terinstal.

c. Penggunaan Metode SLAM

Membuat dan menginstal *library* Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) untuk menampilkan pemetaan ruangan yang dilewati sensor dengan penampilannya menggunakan tool Rviz.

d. Proses menentukan jarak dan sudut

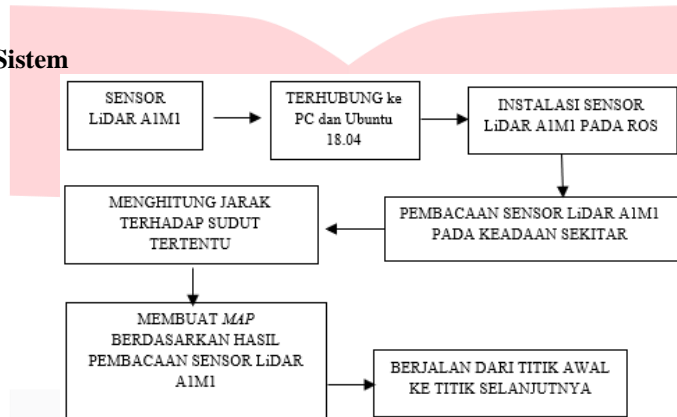
- Menentukan jarak antara sensor dengan benda yang ada disekitar memanfaatkan hasil dari pembacaan sensor,
- Sensor LiDAR akan diprogram untuk melakukan pembacaan jarak sesuai jarak yang ditentukan,
- Pengukuran jarak dan sudut sebenarnya menggunakan mistar serta busur derajat untuk dijadikan perbandingan dengan hasil pengukuran dari sensor.

e. Proses *mapping*

- Membuat *package* yang sesuai untuk pembuatan peta (*mapping*),
- Melakukan eksekusi pada *package* yang sudah dibuat,
- Memberikan *command* melalui terminal Ubuntu untuk menjalankan program yang sudah dibuat
- Proses *mapping* ditampilkan pada monitor melalui Rviz.

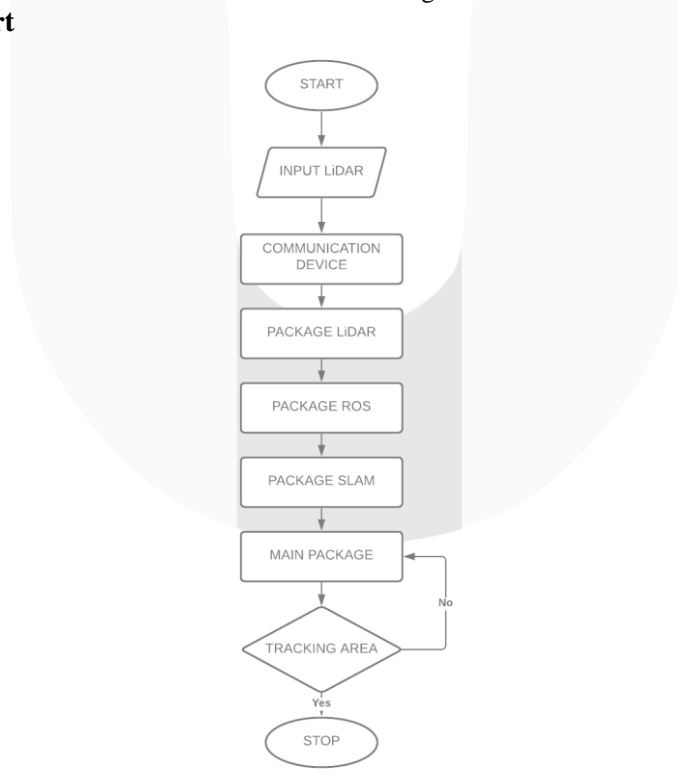
3. Desain Sstem

3.1 Diagram Sistem



Gambar 3. 1 Diagram Sistem

3.2 Flowchart

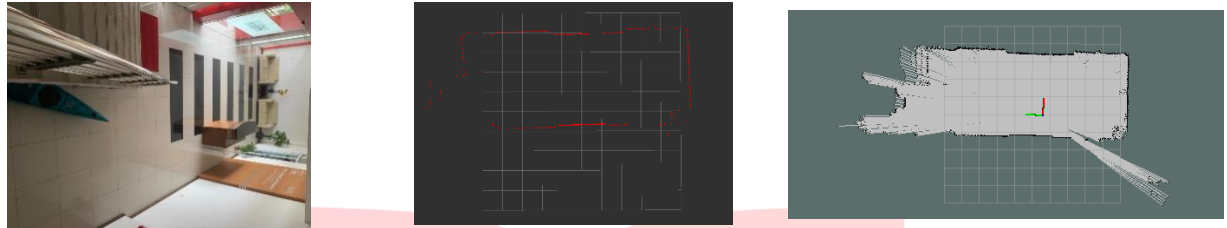


Gambar 3. 2 Flowchart

4. Pembahasan dan Hasil Pengujian

4.1 Pengujian Akurasi Sensor

Sensor LiDAR A1M1 adalah sensor yang memiliki teknologi membaca dan peraba jarak jauh dengan mengukur cahaya yang terpantul kembali dari yang tersebar untuk menemukan jarak dan informasi lain dari target yang jauh. Didalam sensor terdapat sumber cahaya laser yang akan dipancarkan dan berputar secara 360⁰, dalam pengujian akurasi sensor akan dilakukan perbandingan hasil pembacaan sensor LiDAR melalui Rviz dengan bentuk nyata dari sebuah ruangan berukuran 10 meter x 5 meter.



Gambar 4. 1 Pengujian Akurasi Sensor

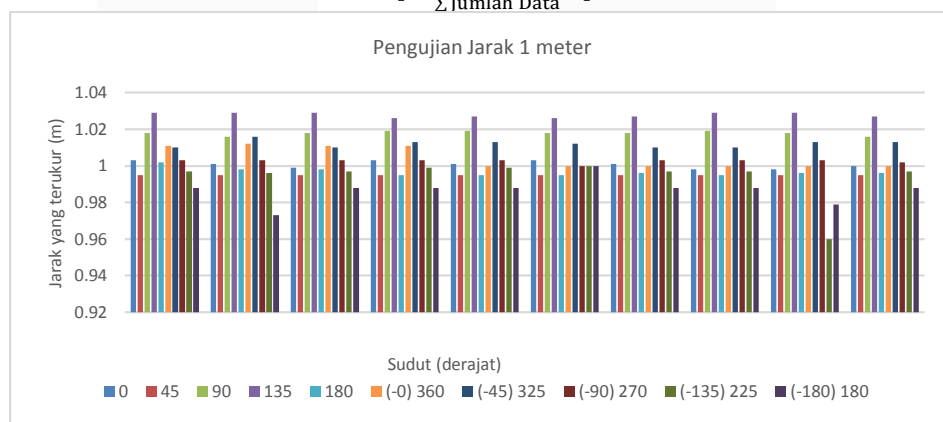
Berdasarkan Gambar 4.1 menunjukkan bahwa hasil pembacaan oleh Sensor LiDAR A1M1 terbukti sesuai, peta yang ditampilkan pada Rviz sesuai dengan denah asli ruangan. Hal ini dikarenakan Sensor LiDAR A1M1 membaca keadaan sekitar dengan putaran 360⁰.

4.2 Pengujian Pengukuran Jarak Sejauh 1 meter dan Visualisasinya Pada Sudut Tertentu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pembacaan jarak 1 m pada jangkauan sudut tertentu. Pengujian ini dilakukan di Gedung Serba Guna Telkom University. Pengujian pengukuran jarak akan dilakukan sebanyak 10 kali pada masing – masing sudut. Beberapa sudut untuk pengujian jarak 1 m diantaranya 0⁰, 45⁰, 90⁰, 135⁰, 180⁰, -0⁰, -45⁰, -90⁰, -135⁰, -180⁰. Tahapan dalam melakukan pengujian dengan mengukur jarak 1 m disetiap sudut. Kemudian titik tengah dari pengukuran 1 m dijadikan titik tempat sensor LiDAR. Pengukuran di terminal Ubuntu diberikan *command* `roslaunch laser_values laser.launch` untuk memberikan hasil pembacaan nilai jarak oleh sensor. Untuk mendapatkan error pada hasil pengukuran menggunakan rumus berikut ini beserta grafik hasil pengujian pengukuran jarak 1 m :

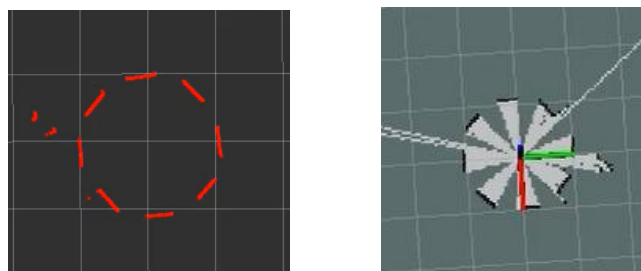
$$\text{Error} = \left[\frac{(\text{nilai jarak aktual} - \text{nilai sensor})}{\text{nilai jarak aktual}} \times 100\% \right] \quad (4.1)$$

$$\text{Error rata – rata} = \left[\frac{\sum \text{Nilai Selisih Data}}{\sum \text{Jumlah Data}} \right] \quad (4.2)$$



Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Pengukuran Jarak 1 m

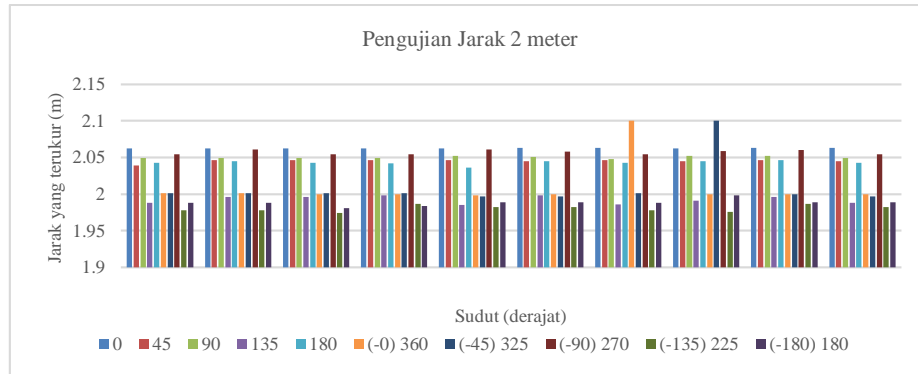
Berdasarkan Tabel 4.1 yang digambarkan secara grafik di Gambar 4.4 diketahui bahwa, pengukuran jarak 1 m disetiap sudut yang sudah ditentukan dapat dikatakan nilai pengukurannya stabil dan baik dengan nilai error 0.941 %. Untuk hasil visualisasi pemetaan dilampirkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 4. 3 Hasil Pembacaan Sensor Pada Jarak 1 m

4.3 Pengujian Pengukuran Jarak Sejauh 2 meter dan Visualisasinya Pada Sudut Tertentu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pembacaan jarak 2 m pada jangkauan sudut tertentu. Pengujian ini dilakukan di Gedung Serba Guna Telkom University. Pengujian pengukuran jarak akan dilakukan sebanyak 10 kali pada masing – masing sudut. Beberapa sudut untuk pengujian jarak 2 m diantaranya 0⁰, 45⁰, 90⁰, 135⁰, 180⁰, -0⁰, -45⁰, -90⁰, -135⁰, -180⁰. Tahapan dalam melakukan pengujian dengan mengukur jarak 2 m disetiap sudut. Kemudian titik tengah dari pengukuran 2 m dijadikan titik tempat pembacaan sensor LiDAR. Pada terminal Ubuntu diberikan *command* `roslaunch laser_values laser.launch` untuk memberikan hasil pembacaan nilai jarak oleh sensor. Berikut grafik data yang telah diperoleh dari hasil pengujian :



Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Pengukuran Jarak 2 m

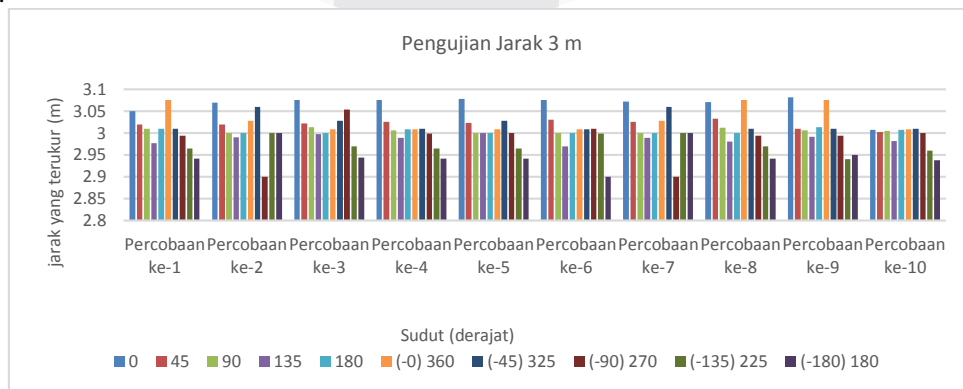
Berdasarkan grafik di Gambar 4.4 diketahui bahwa, pengukuran jarak 2 m disetiap sudut yang sudah ditentukan dapat dikatakan nilai pengukurannya stabil dan baik dengan nilai error 1.483 %. Untuk mendapatkan visualisasi pemetaan dari pembacaan sensor menggunakan *command* `roslaunch hector_slam_launch tutorial.launch`. Berikut hasil visualisasi pemetaan dilampirkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 4. 5 Hasil Pembacaan Sensor Pada Jarak 2 m

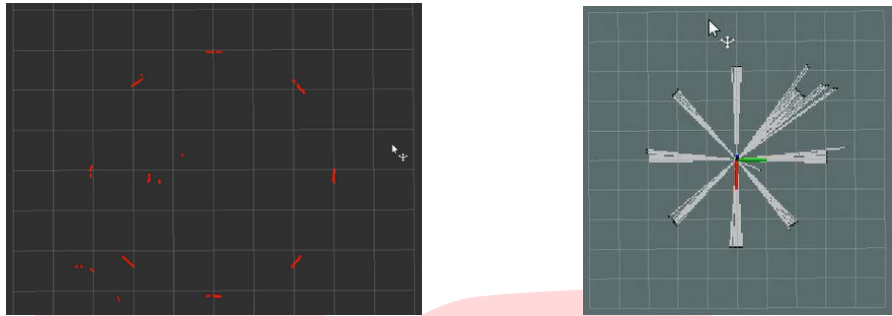
4.4 Pengujian Pengukuran Jarak Sejauh 3 meter dan Visualisasinya Pada Sudut Tertentu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pembacaan jarak 3 m pada jangkauan sudut tertentu. Pengujian ini dilakukan di Gedung Serba Guna Telkom University. Pengujian pengukuran jarak akan dilakukan sebanyak 10 kali pada masing – masing sudut. Beberapa sudut untuk pengujian jarak 3 m diantaranya 0⁰, 45⁰, 90⁰, 135⁰, 180⁰, -0⁰, -45⁰, -90⁰, -135⁰, -180⁰. Tahapan dalam melakukan pengujian dengan mengukur jarak 3 m disetiap sudut. Kemudian titik tengah dari pengukuran 3 m dijadikan titik tempat pembacaan sensor LiDAR. Pada terminal Ubuntu diberikan *command* `roslaunch laser_values laser.launch` untuk memberikan hasil pembacaan nilai jarak oleh sensor. Berikut grafik data yang telah diperoleh dari hasil pengujian :



Gambar 4. 6 Grafik Pengujian Pengukuran Jarak 3 m

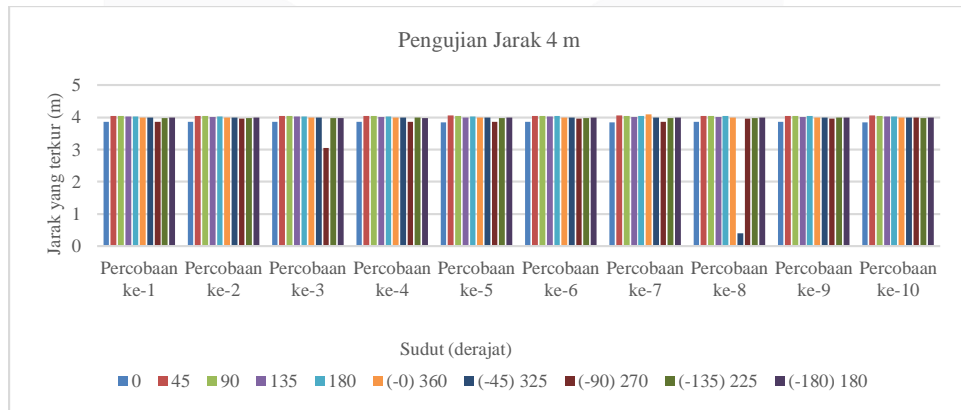
Berdasarkan Gambar 4.6 diketahui bahwa, pengukuran jarak 3 m disetiap sudut yang sudah ditentukan dapat dikatakan nilai pengukurannya stabil dan baik dengan nilai error 0.871 %. Untuk mendapatkan visualisasi pemetaan dari pembacaan sensor menggunakan *command* `roslaunch Hector_slam_launch tutorial.launch`. Berikut hasil visualisasi pemetaan dilampirkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 4. 7 Hasil Pembacaan Sensor Pada Jarak 3 m

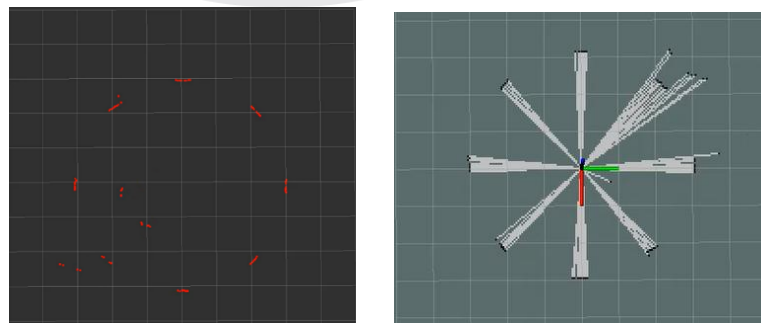
4.5 Pengujian Pengukuran Jarak Sejauh 4 meter dan Visualisasinya Pada Sudut Tertentu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pembacaan jarak 4 m pada jangkauan sudut tertentu. Pengujian ini dilakukan di Gedung Serba Guna Telkom University. Pengujian pengukuran jarak akan dilakukan sebanyak 10 kali pada masing – masing sudut. Beberapa sudut untuk pengujian jarak 4 m diantaranya 0⁰, 45⁰, 90⁰, 135⁰, 180⁰, -0⁰, -45⁰, -90⁰, -135⁰, -180⁰. Tahapan dalam melakukan pengujian dengan mengukur jarak 4 m disetiap sudut. Kemudian titik tengah dari pengukuran 4 m dijadikan titik tempat pembacaan sensor LiDAR. Pada terminal Ubuntu diberikan *command* `roslaunch laser_values laser.launch` untuk memberikan hasil pembacaan nilai jarak oleh sensor. Berikut tabel nilai jarak yang terukur di terminal Ubuntu beserta grafik data yang telah diperoleh dari hasil pengujian :



Gambar 4. 8 Grafik Pengujian Pengukuran Jarak 4 m

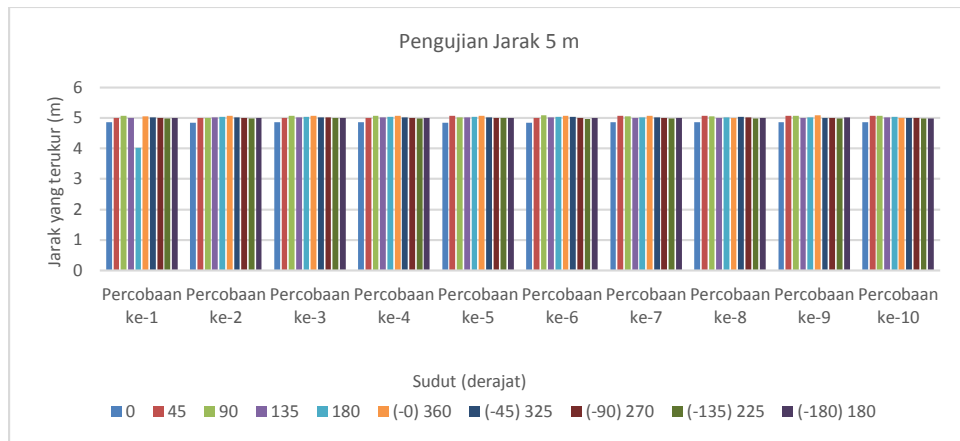
Berdasarkan Gambar 4.8 diketahui bahwa, pengukuran jarak 4 m disetiap sudut yang sudah ditentukan dapat dikatakan nilai pengukurannya sangat stabil dan baik dengan nilai error 0.895 %. Untuk mendapatkan visualisasi pemetaan dari pembacaan sensor menggunakan *command* `roslaunch Hector_slam_launch tutorial.launch`. Berikut hasil visualisasi pemetaan dilampirkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.9 Hasil Pembacaan Sensor Pada Jarak 4 m

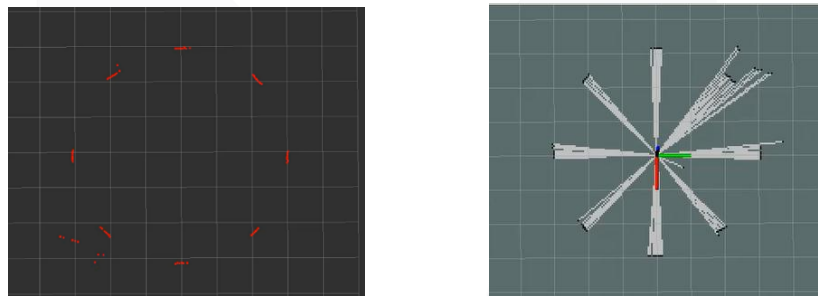
4.6 Pengujian Pengukuran Jarak Sejauh 5 meter dan Visualisasinya Pada Sudut Tertentu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pembacaan jarak 5 m pada jangkauan sudut tertentu. Pengujian ini dilakukan di Gedung Serba Guna Telkom University. Pengujian pengukuran jarak akan dilakukan sebanyak 10 kali pada masing – masing sudut. Beberapa sudut untuk pengujian jarak 5 m diantaranya 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , -0° , -45° , -90° , -135° , -180° . Tahapan dalam melakukan pengujian dengan mengukur jarak 5 m disetiap sudut. Kemudian titik tengah dari pengukuran 5 m dijadikan titik tempat pembacaan sensor LiDAR. Pada terminal Ubuntu diberikan *command* `roslaunch laser_values laser.launch` untuk memberikan hasil pembacaan nilai jarak oleh sensor. Berikut grafik data yang telah diperoleh dari hasil pengujian :



Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengujian Pengukuran Jarak 5 m

Berdasarkan grafik di Gambar 4.10 diketahui bahwa, pengukuran jarak 5 m disetiap sudut yang sudah ditentukan dapat dikatakan nilai pengukurannya sangat stabil dan baik dengan nilai error 0.763 %. Untuk mendapatkan visualisasi pemetaan dari pembacaan sensor menggunakan *command* `roslaunch Hector_slam_launch tutorial.launch`. Berikut hasil visualisasi pemetaan dilampirkan pada gambar dibawah ini :

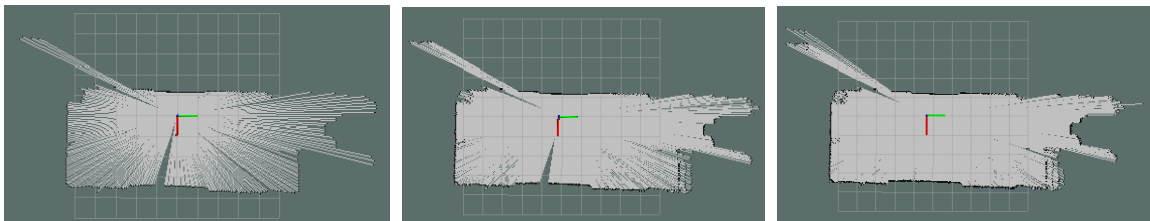


Gambar 4. 11 Hasil Pembacaan Sensor Pada Jarak 5 m

Selama melakukan pengujian pengukuran jarak pada sudut tertentu telah terjadi kesalahan-kesalahan sehingga terdapat nilai error, beberapa kesalahan yang menyebabkan adanya error yaitu ketika melakukan pengukuran secara manual menggunakan roll meteran dan busur derajat ketepatan nilai pengukuran kurang tepat. Kesalahan tersebut sering disebut dengan *human error*.

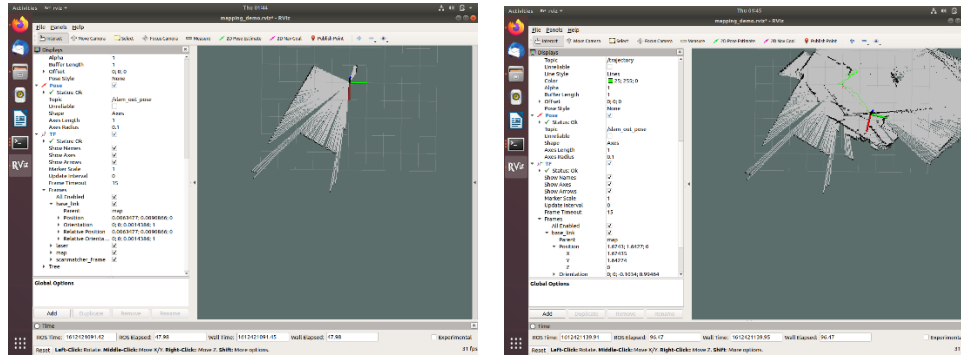
4.7 Pengujian Pemetaan

Pengujian pemetaan bertujuan untuk melihat hasil visualisasi pemetaan dari data sensor yang diambil berkali kali. Pengujian ini dilakukan dengan cara menaruh sensor LiDAR pada titik tengah sebuah ruangan. Kemudian sensor LiDAR dihubungkan ke pc supaya dapat di akses melalui terminal Ubuntu. Pada terminal Ubuntu diberikan *command* `roslaunch Hector_slam_launch tutorial.launch`. Berikut dilampirkan hasil visualisasi pemetaan dari sensor LiDAR :



Gambar 4. 12 Hasil Visualisasi Pemetaan Pertama Dari Sensor LiDAR

Pengujian selanjutnya yaitu nilai x,y yang dapat ditampilkan pada perangkat lunak Rviz diawali dengan *command* pada terminal Ubuntu 18.04 berupa `roslaunch gbot_core gbot.launch` kemudian diberi *command* berupa `roslaunch gbot_core gbot_visualization.launch`. Berikut hasil dari pengujian pemetaan disertai nilai x,y :



Gambar 4. 13 Hasil Visualisasi Pengujian Pemetaan Beserta Nilai (x,y)

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian sistem pemetaan menggunakan Sensor LiDAR A1M1 adalah sebagai berikut

- Berdasarkan hasil pengujian jarak pada sudut tertentu, pengujian pemetaan dapat dikatakan sistem pemetaan yang diakses melalui terminal Ubuntu dalam *framework Robot Operating System* disertai algoritma *Simultaneous Localization and Mapping* menggunakan sensor LiDAR A1M1 bekerja dengan baik dan memiliki nilai error sebesar 0.99 %.
- Sensor LiDAR A1M1 dengan sistem pemetaan yang telah dirancang dapat diterapkan pada kursi roda otonomus.

Referensi

- [1] F. Ismandari, "Situasi Disabilitas," *Pus. Data dan Inf. Kementerian Kesehatan. RI*, pp. 1–10, 2019.
- [2] D. Erlangga, E. D. R. H S, S. Sunarto, K. Rahardjo T.S, and F. G, "Sistem Navigasi Mobile Robot Dalam Ruang Berbasis Autonomous Navigation," *J. Mech. Eng. Mechatronics*, vol. 4, no. 2, p. 78, 2019, doi: 10.33021/jmem.v4i2.823.
- [3] M. Bilal, Z. Asyikin, D. N. Pramudia, A. Fadillah, and H. Pembahasan, "Pemetaan Ruang dengan Metode Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Berbasis LiDAR Prosiding," vol. 5, no. 1, pp. 1–5, 2020.
- [4] H. Grewal, A. Matthews, R. Tea, and K. George, "LIDAR-based autonomous wheelchair," *SAS 2017 - 2017 IEEE Sensors Appl. Symp. Proc.*, 2017, doi: 10.1109/SAS.2017.7894082.
- [5] S. Prayoga, A. Budianto, and A. B. Kusuma Atmaja, "Sistem Pemetaan Ruang 2D Menggunakan Lidar," *J. Integr.*, vol. 9, no. 1, p. 73, 2017, doi: 10.30871/ji.v9i1.273.
- [6] Robopeak, "Rplidar," 2014. https://www.dprg.org/wp-content/uploads/2019/10/robopeak_2d_lidar.pdf (accessed Nov. 20, 2020).
- [7] Febian, "Ubuntu 18.04 LTS," <https://winpoin.com/review-fitur-baru-ubuntu-18-04-lts-final-tour-tekno-1/>, 2018. <https://winpoin.com/review-fitur-baru-ubuntu-18-04-lts-final-tour-tekno-1/> (accessed Nov. 15, 2020).
- [8] A. Jalil, "Robot Operating System (Ros) Dan Gazebo Sebagai Media Pembelajaran Robot Interaktif," *Ilk. J. Ilm.*, vol. 10, no. 3, pp. 284–289, 2018, doi: 10.33096/ilkom.v10i3.365.284-289.
- [9] M. Alajlan and A. Koubâa, "Plugins in ROS : A Tutorial," doi: 10.1007/978-3-319-26054-9.
- [10] C. C. Wang, C. Thorpe, S. Thrun, M. Hebert, and H. Durrant-Whyte, "Simultaneous localization, mapping and moving object tracking," *Int. J. Rob. Res.*, vol. 26, no. 9, pp. 889–916, 2007, doi: 10.1177/0278364907081229.
- [11] S. Jurić-Kavelj, "Localization and Navigation," University of Zagreb, 2018.
- [12] Mathworks.com, "What Is SLAM?," www.mathworks.com. <https://www.mathworks.com/discovery/slam.html>.