

Pemetaan 2D Indoor menggunakan Automated Guided Vehicle (AGV) dengan LiDAR

Tomi Kurniawan*)¹, Risfendra²

^{1,2}Teknik Elektro Industri, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Indonesia

*)Corresponding author, tomi.kurniawan199@gmail.com

| Abstrak | INFO. |
|--|---|
| <p>AGV dibuat untuk proses produksi terhindar dari <i>human error</i> dengan keuntungan fleksibilitas dan pergerakan yang mudah. Jalur pemandu AGV pada umumnya dibuat berbentuk garis hitam dan juga terdapat RFID, hal tersebut membuat AGV tersebut tidak efektif dan merusak pemandangan ruangan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membentuk suatu peta yang diketahui oleh robot dan tidak merusak pemandangan ruangan dengan menggunakan sensor LiDAR dan metode SLAM. Dengan menggunakan metode <i>experimental</i> untuk pengujian kelayakan LiDAR pada area sebesar 220 x 110 cm serta metode <i>try-and-error</i> untuk menemukan algoritma pemetaan yang tepat pada laboratorium sebesar 11.74 x 7.85 m. Penelitian ini menemukan <i>error</i> rata-rata antara pengukuran aktual dengan pengukuran pada sistem dengan menghasilkan <i>error</i> pada uji <i>experimental</i> sebesar 0.12% sedangkan pada pembuatan peta sebesar 0.23% dengan pemanfaatan metode <i>Simultaneous Localization And Mapping</i> (SLAM) dengan optimalisasi <i>framework Robotic Operation System</i> (ROS). Hasil ini menunjukkan AGV dengan membawa LiDAR mampu membentuk peta dengan akurat pada area yang belum diketahui.</p> | <p>Info. Artikel: No. 373 Received. March, 28, 2023 Revised. May, 19, 2023 Accepted. May, 24, 2023 Page. 169 – 178</p> <p>Kata kunci: ✓ Pemetaan ✓ LiDAR ✓ AGV ✓ SLAM ✓ ROS</p> |
| <p>Abstract</p> <p><i>AGV is made for the production process to avoid human error with the advantages of flexibility and easy movement. The AGV guideline is generally made in the form of a black line and also contains RFID, which makes the AGV ineffective and an eyesore to the room. Therefore, this study aims to form a map that is known by the robot and does not spoil the view of the room using LiDAR sensors and the SLAM method. By using an experimental method to test the feasibility of LiDAR in an area of 220 x 110 cm and a try-and-error method to find the right capture algorithm in a laboratory of 11.74 x 7.85 m. This study found that the average error between actual measurements and measurements on the system resulted in an error in the experimental test of 0.12%, while in making maps it was 0.23% using the Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) method with optimization of the Robotic Operation System framework. (ROS). These results show that AGV with LiDAR can form maps accurately in unknown areas.</i></p> | |

PENDAHULUAN

Pengaplikasian teknologi modern dipicu oleh kemajuan teknologi untuk memudahkan pekerjaan manusia. Teknologi modern saat ini diuntungkan karena memiliki akurasi dan kecepatan yang baik. Salah satu penerapannya yang sangat penting dalam rantai pasokan yaitu distribusi barang[1]. Distribusi barang secara konvensional telah digantikan oleh robot yang membantu pekerjaan tersebut. Produktifitas dapat ditingkatkan oleh proses tersebut serta mengurangi potensi *Human Error*[2][3].

AGV (*Automated Guided Vehicle*) merupakan salah satu aplikasi robot yang digunakan untuk mengangkut barang dari satu tempat ke tempat lainnya dengan basis sistem navigasi secara otomatis[4][5]. Robot ini mampu memudahkan operator dalam memindahkan barang. Adapun kemudahan yang didapat dengan menggunakan AGV adalah fleksibel, biaya operasi minim, pergerakan

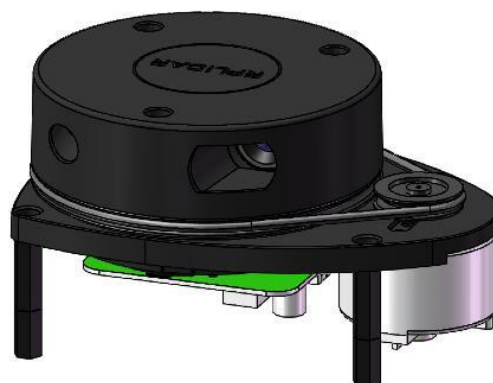
yang mudah dan dapat terintegrasi dengan perangkat lainnya. AGV dapat dijalan secara otomatis dan manual.

Pemetaan lingkungan sekitar robot merupakan proses yang menghasilkan peta model 2D dari lingkungan kerja nyata menggunakan data lingkungan spesifik yang diperoleh dari sensor[6]. Pemetaan lingkungan adalah fitur penting pada robot untuk dapat berjalan sendiri di lingkungan yang baru serta dapat menentukan posisi terkini dari robot untuk dapat menentukan arah selanjutnya terhadap misi yang diberikan. Sebagian besar AGV telah dibekali sensor untuk membaca pemandu berupa garis[7] maupun RFID[8][9] yang ditempelkan pada bidang horizontal maupun vertikal. Tetapi hal tersebut hanya dapat diterapkan pada lingkungan kerja robot yang tidak ada interaksi dengan manusia. Sedangkan manusia diperlukan sebagai bagian dalam proses produksi. Pemandu tersebut juga dapat hilang dan rusak oleh pemakaian yang terus menerus, sehingga pekerjaan robot terhambat oleh pemandu yang tidak dapat dibaca dengan baik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian dilakukan mengenai pemanfaatan sensor LiDAR untuk melakukan pemetaan ruangan dengan metode *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) sebagai pemandu AGV. Dalam penelitian ini digunakan sensor LiDAR A1M8 yang memiliki kemampuan pembacaan jarak hingga 12 m untuk pembacaan karakter lingkungan sekitar robot. Sedangkan pendekatan yang dapat dilakukan untuk SLAM dalam penelitian ini menggunakan pendekatan *Hector-SLAM*, dimana pendekatan ini diterapkan pada sistem yang melakukan pemetaan secara *real-time* dengan mengandalkan sensor LiDAR. Dengan kompleksnya proses kerja metode SLAM dengan Hector-SLAM sehingga diperlukan fasilitas ROS yang memberikan kecepatan kirim data dari satu program ke program lain[10].

Dasar Teori

Remote Sensing merupakan metode yang menggunakan perangkat dengan energi elektromagnetik untuk mendeteksi, merekam dan mengukur karakteristik suatu objek[11]. LiDAR merupakan salah satu perangkat *Remote Sensing* dengan tipe sistem aktif. LiDAR merupakan perangkat atau sistem yang bekerja dengan menggunakan cahaya laser dengan kerapatan tinggi untuk mengukur jarak terhadap bidang pantul yang tampak pada gambar 1. LiDAR dapat dianalogikan seperti Radar (*Radio Detecting and Ranging*), tetapi LiDAR basisnya menggunakan diskrit pulsa dari cahaya laser. Koordinat perangkat dapat dihitung dari beda waktu antara sinar laser *transmit* dan *recv*. Kecepatan cahaya dianggap konstan dengan nilai 3×10^8 m/s.



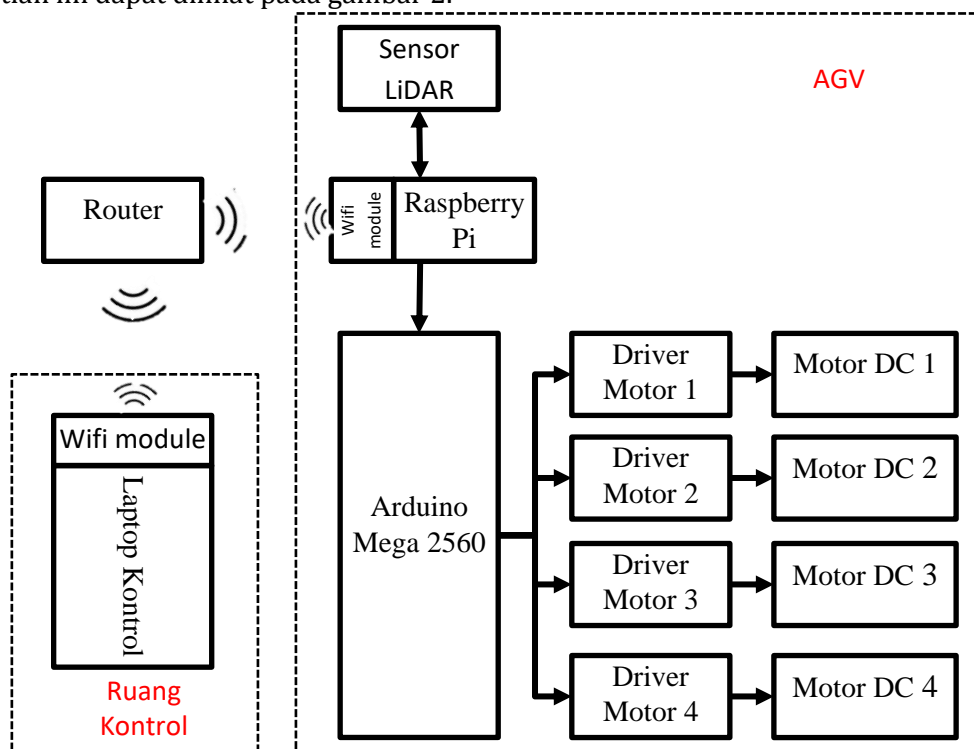
Gambar 1. Sensor LiDAR

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan dua metode, yaitu metode eksperimental dan metode *trial-and-error*. Pada tahap awal, dilakukan pengujian untuk evaluasi spesifikasi dan karakteristik dari sensor LiDAR menggunakan metode eksperimental. Sensor LiDAR tersebut akan dilihat data pembacaan jaraknya dengan menggunakan *software FrameGrabber*. Hasil pengujian tersebut digunakan sebagai acuan dalam membuat algoritma pemrograman untuk dilakukan pemetaan. Selanjutnya, pada tahapan pembuatan algoritma pemrograman, digunakan metode *trial-and-error* untuk menghasilkan algoritma yang paling sesuai dengan spesifikasi dan karakteristik dari seluruh komponen yang digunakan. Peta tersebut ditampilkan pada *software Rviz* berupa peta 2D. Peta yang telah di ekstrak akan di ukur dengan menggunakan *software GIMP* yang berbasis m/pixel.

Blok Diagram

Penelitian ini terbagi atas 2 bagian sistem, sistem pertama terdapat pada ruang kontrol sedangkan sistem kedua terdapat pada robot AGV. Sistem pada ruang kontrol terdapat laptop yang berfungsi sebagai pengolah data dari lidar untuk dibuatkan peta serta pengendali manual jarak jauh. Sedangkan sistem pada AGV terdapat beberapa komponen yaitu LiDAR, Raspberry Pi, Arduino Mega 2560 serta *Driver* dan motor DC. Komponen pada AGV digunakan untuk menjalankan robot AGV dan membaca jarak dengan menggunakan sensor LiDAR. Kedua sistem tersebut terhubung melalui komunikasi WLAN dengan media *router* serta *framework Robotic Operation System (ROS)*. Blok diagram pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

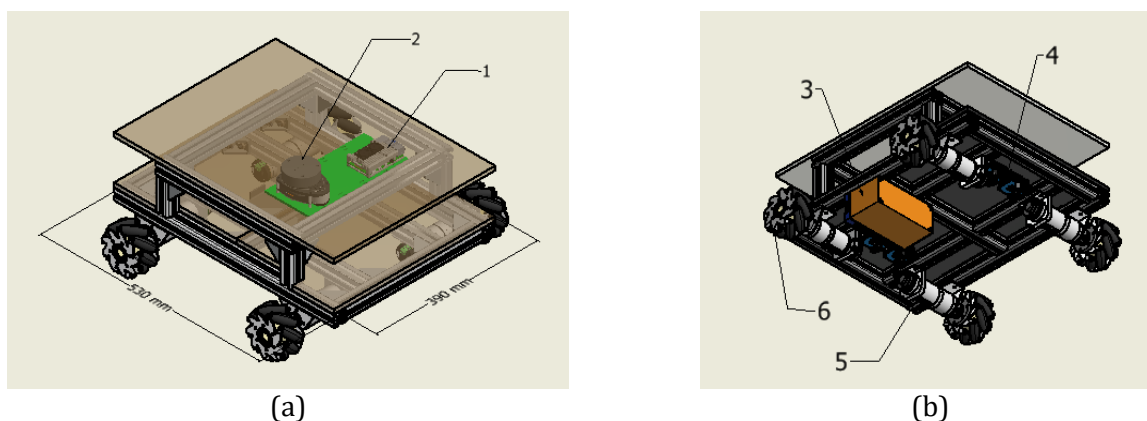
Keterangan lebih rinci blok diagram sistem adalah sebagai berikut.

1. Pada ruang kontrol terdapat laptop dengan spesifikasi prosesor i5, RAM 8 Gb, media penyimpanan SSD 500 Gb, dan *wifi module onboard* yang menjalankan *Linux Ubuntu 20.04* pada *Virtual Machine (Oracle VM VirtualBox)*.
2. Sensor LiDAR A1M8 dengan kemampuan pembacaan jarak 12m difungsikan sebagai pemancar sinar infra merah untuk mengambil data karakter berupa jarak dari lingkungan sekitarnya secara 360°.

3. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 difungsikan sebagai pengendali kecepatan AGV serta difungsikan untuk peningkatan kinerja Raspberry Pi 4B dalam penerima data sensor LiDAR secara *real-time*[5].
4. Raspberry Pi 4B merupakan *mini PC* yang difungsikan sebagai penerima data dari sensor LiDAR lalu diteruskan ke laptop kontrol. Alat ini juga difungsikan sebagai perantara kontrol jarak jauh oleh laptop kontrol ke AGV dengan memberikan sinyal ke Arduino Mega 2560.
5. *Driver Motor* berfungsi sebagai pengendali tegangan dan polaritas berdasarkan sinyal dari Arduino Mega 2560 untuk kendali motor DC.
6. Motor DC merupakan *actuator* dengan tipe berputar pada porosnya untuk menjalankan AGV melalui roda.

Rancangan Hardware

Penelitian ini menggunakan *hardware AGV holonomic* dengan rangka menggunakan aluminium profil 30x30 mm dengan dimensi 390 x 530 mm. Aluminium profil tersebut dipotong sedemikian rupa dan dihubungkan dengan *bracket* siku sehingga membentuk robot seperti pada gambar 3. Akrilik digunakan pada AGV ini sebagai landasan dari setiap tingkatnya. *bracket* yang terbuat dari aluminium 6061 digunakan untuk mengikat motor DC serta digunakan *hub* untuk pengikat roda ke AGV. Adapun komponen pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

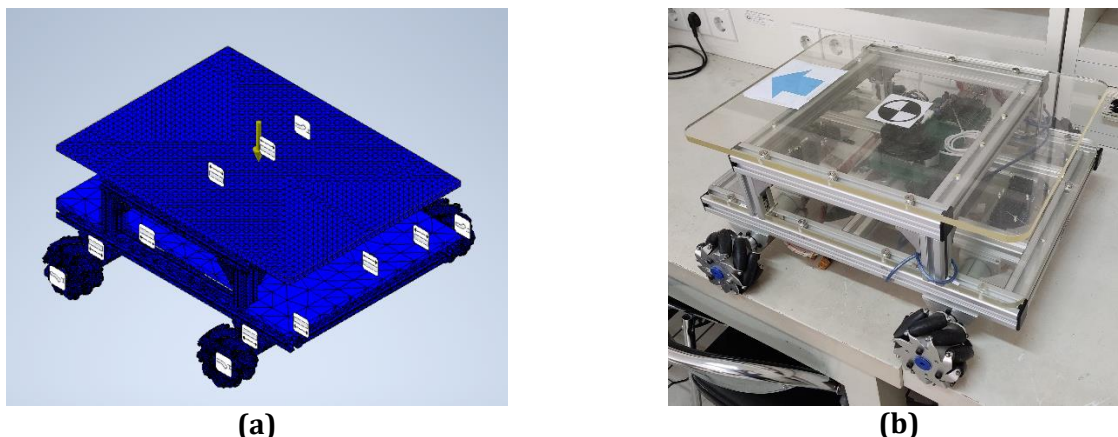


Gambar 3. Rancangan *hardware* dengan komponen, (a) tampak atas; (b) tampak bawah

Tabel 1. Daftar Komponen AGV

| No. | Nama Komponen | Kuantitas (pcs) |
|-----|-------------------|-----------------|
| 1 | Raspberry Pi 4B | 1 |
| 2 | Sensor LiDAR A1M8 | 1 |
| 3 | Battery Lipo 3s | 2 |
| 4 | Driver Motor DC | 4 |
| 5 | Motor DC | 4 |
| 6 | Mecanum Wheel | 4 |

Hardware AGV telah dibangun sesuai dengan rancangan dengan penggunaan aluminium profil 30x30 mm serta akrilik sebagai landasan setiap komponen. *Hardware* juga dilakukan analisis *stress* dengan menggunakan *software Autodesk Inventor 2021* dengan hasil kemampuan uji tekan pada hardware aman hingga 100 Kg dengan safety factor di angka 5,03 (Gambar 4(a)). Analisis ini dilakukan dengan referensi roda serta *bracket* motor secara vertikal dibuat *fixed*. Titik paling stress pada hardware tersebut adalah bagian poros motor DC dan as roda *roller mecanum*. Hardware juga telah dirakit sesuai dengan rancangan AGV dan model nyata dapat dilihat pada gambar 4(b)



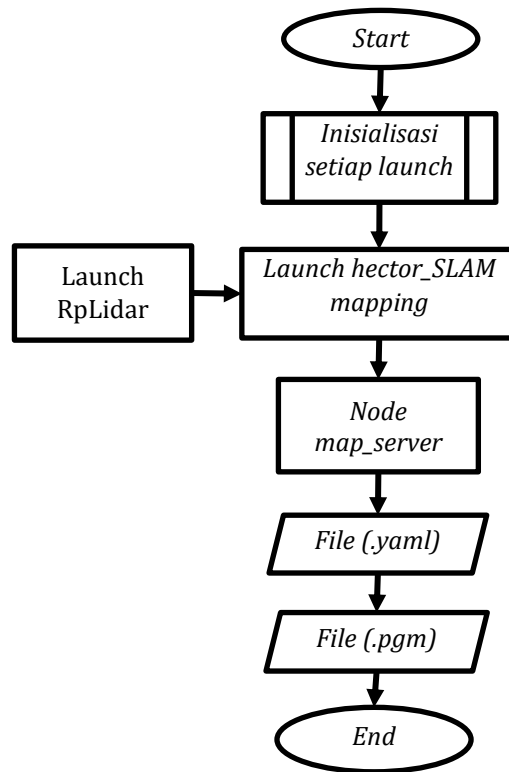
Gambar 4. Tampilan alat: (a) Rancangan AGV; (b) AGV Nyata

Rancangan Program

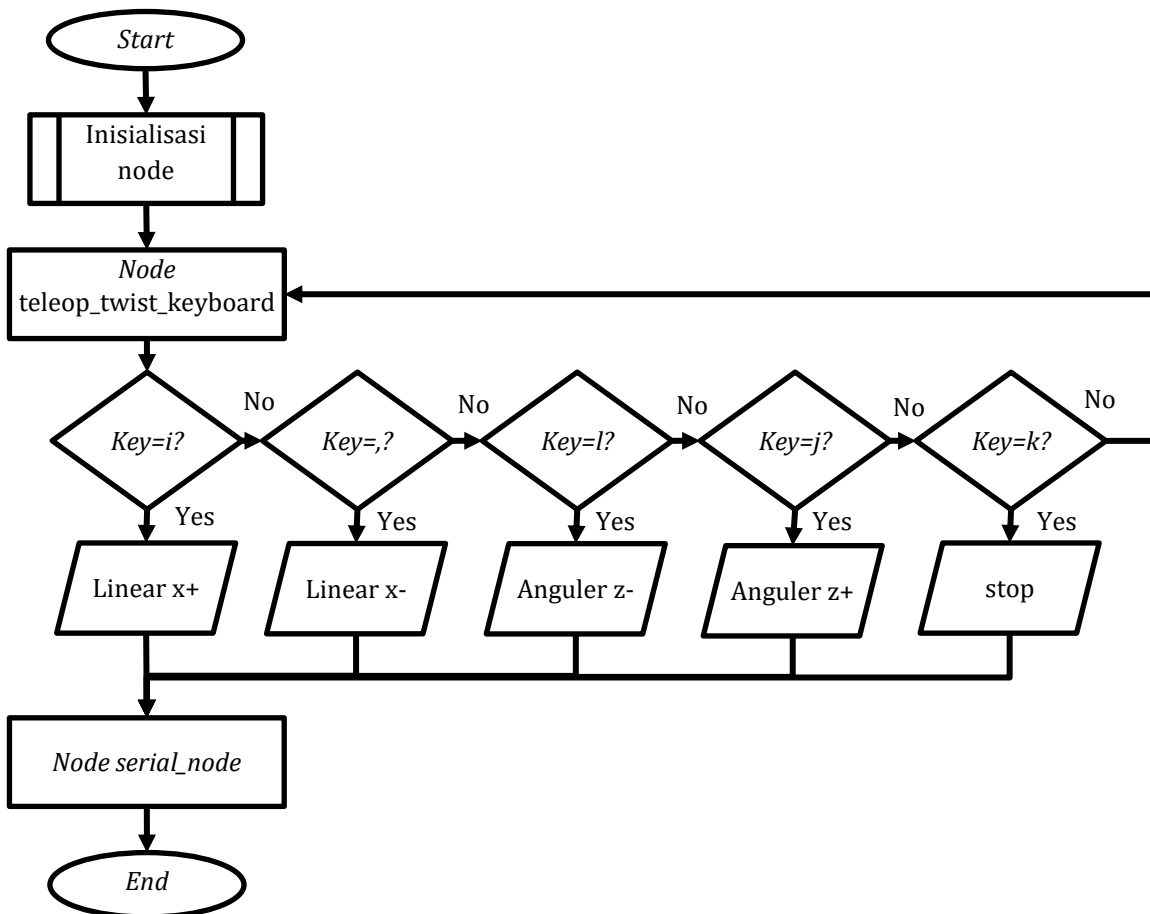
Proses *transfer* data dengan penggunaan *framework* ROS dimudahkan dengan adanya *node*. *node* merupakan sebuah *script* program untuk menjalankan satu fungsi komponen atau logika robot. Dalam mengoperasikan robot dengan menggunakan ROS diperlukan beberapa *node*. Setiap *node* saling bertukar data dengan mengandalkan sebuah topik. Topik menampung data dari *node* yang mengirim data yang disebut *publisher* lalu diberikan kepada *node* yang membaca data dari suatu topik disebut *subscriber*. Beberapa *node* dapat dijalankan secara bersamaan dengan menggunakan fungsi *launch*. Fungsi *launch* dijalankan dengan mengeksekusi satu baris perintah pada terminal *linux*. Dalam penelitian ini terdapat 2 *launch* dan 2 *node* yang digunakan yaitu *launch RpLidar*, *launch Hector_SLAM mapping*, *node teleop_twist_keyboard*, dan *node map_server*.

Proses dimulai dengan menjalankan *launch RpLidar* pada raspberry Pi 4B untuk dapat membaca data dari sensor LiDAR. Topik yang ditampilkan ketika menjalankan *launch* tersebut adalah topik */scan*. Dalam topik tersebut terdapat *node publisher* dengan nama */rplidarNode* dimana *node* ini menghasilkan data jarak dan sudut dari sensor LiDAR. Selanjutnya dijalankan *launch Hector_SLAM mapping* pada laptop kontrol untuk *subscribe* data jarak dan sudut (*point cloud*) pada topik */scan* menjadi peta. *Software RViz* dipanggil secara otomatis oleh *launch* ini, selanjutnya setiap *update* data dari *point cloud* akan dibentuk menjadi peta pada *software RViz* tersebut. Pemanggilan *node map_server* dilakukan setelah peta pada tampilan *RViz* lengkap dan peta tersebut akan tersimpan di folder *Home* dalam bentuk file *.yaml* dan *.pgm*. *Flowchart* program pembuatan peta dapat dilihat pada Gambar 5.

Update data cloud terjadi tergantung area yang dapat direkam oleh sensor LiDAR pada saat itu. Untuk menjelajahi area yang lebih luas diperlukan AGV untuk membawa LiDAR menjelajahi area yang tidak dapat direkam. Kontrol AGV secara manual dilakukan dengan menjalankan *node teleop_twist_keyboard* pada laptop kontrol untuk dihasilkan topik */cmd_vel* sebagai topik kontrol kecepatan. Dalam topik ini *node teleop_twist_keyboard* bertindak sebagai *publisher* dengan memberikan data kecepatan dari penekanan huruf *i* dan (simbol “*;*”) untuk linear *x*, *y* dan *l* untuk anguler *z* serta *k* untuk berhenti. Tipe data dalam topik ini berupa *geometry_msgs* dimana akan dihasilkan data berupa nilai *linear* dan *anguler* dalam sumbu *x*, *y*, *z*. Kontrol AGV umumnya digunakan *linear x* untuk maju dan mundur dan *anguler z* berputar di tempat *cw* maupun *ccw*. Selanjutnya topik */cmd_vel* dibaca atau *subscriber* oleh *node serial_node* Arduino mega 2560 untuk mengontrol motor DC sesuai kecepatan dari *node teleop_twist_keyboard*. *Flowchart* program kontrol manual AGV dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Flowchart Program Pembuatan Peta



Gambar 6. Flowchart Program kontrol manual AGV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sensor LiDAR

Pada penelitian ini digunakan sensor LiDAR sebagai alat ukur luas ruangan dengan pengujian pada sudut α ($0^\circ - 20^\circ$). Sudut dipilih karena dapat mewakili sudut-sudut yang lain dengan beda *error* yang cenderung sama. Pengujian LIDAR bertujuan untuk melihat alat layak pakai dengan membandingkan data dengan datasheet[12]. Arena pengujian memiliki ukuran 220 x 110 cm dengan pencahayaan yang diterapkan dari lampu ruangan tanpa ada tambahan lain yang tampak pada gambar 6. Adapun data perbandingan pengukuran dengan aktual dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 6. Arena Pengujian Kelayakan LiDAR

Tabel 2. Perbandingan data terukur LiDAR dengan Aktual

| Sudut ($^\circ$) | Aktual (mm) | Terukur (mm) | Error (%) |
|--------------------|-------------|--------------|-----------|
| 0 | 1100 | 1106 | 0,06 |
| 1 | 1100 | 1104 | 0,04 |
| 2 | 1100 | 1106 | 0,06 |
| 3 | 1101 | 1108 | 0,07 |
| 4 | 1102 | 1110 | 0,08 |
| 5 | 1104 | 1112 | 0,08 |
| 6 | 1106 | 1114 | 0,08 |
| 7 | 1108 | 1118 | 0,1 |
| 8 | 1110 | 1122 | 0,12 |
| 9 | 1113 | 1124 | 0,11 |
| 10 | 1116 | 1128 | 0,12 |
| 11 | 1120 | 1132 | 0,12 |
| 12 | 1124 | 1138 | 0,14 |
| 13 | 1128 | 1142 | 0,14 |
| 14 | 1133 | 1148 | 0,15 |
| 15 | 1138 | 1152 | 0,14 |
| 16 | 1144 | 1160 | 0,16 |
| 17 | 1150 | 1168 | 0,18 |
| 18 | 1156 | 1174 | 0,18 |
| 19 | 1163 | 1178 | 0,15 |
| 20 | 1170 | 1190 | 0,2 |
| Rata-rata error | | | 0,12 |

Berdasarkan tabel 2 selisih jarak minimal adalah 6 mm dan selisih jarak maksimum adalah 62 mm. Jika mengacu pada spesifikasi pada datasheet, sensor ini memiliki error akurasi kurang dari 1%. Oleh karena itu, dengan rata – rata *error* sensor ini 0,12 % sehingga dapat dinyatakan layak untuk digunakan serta pengujian yang dilakukan peneliti dalam hal ini sudah sesuai dengan produsen menggunakan bantuan *software Framgrabber*.

Pemetaan Ruang

Algoritma *Hector-SLAM* digunakan untuk menyusun lingkungan yang tidak diketahui secara simultan dengan robot bergerak[13]. *Hector-SLAM* merupakan pendekatan dalam metode SLAM yang diciptakan oleh Ph.D dari Universitas Darmstadt pada 2011. *Hector-SLAM* memiliki kelebihan dengan mengandalkan sensor LiDAR peta 2D dapat dibentuk. Data LiDAR digunakan sebagai dasar kebenaran untuk pembuatan peta[14]

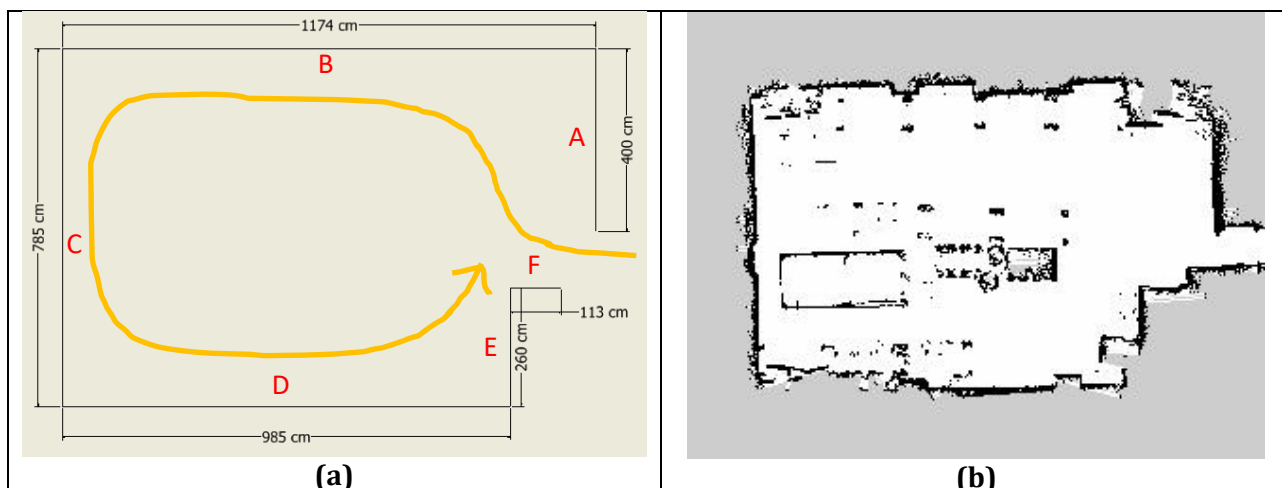
Pengujian ini dilakukan pada ruang Laboratorium Otomasi Departemen Teknik Elektro Universitas Negeri Padang. Laboratorium ini memiliki dimensi maksimum 11,74 m x 7,85 m dengan terdapat beberapa meja belajar panjang serta komponen lain yang tampak pada gambar 7. AGV akan menyusuri setiap sudut ruangan untuk didapatkan data *point cloud* yang lebih luas dengan kondisi kaki meja dan komponen di bawah lainnya akan ikut direkam oleh sensor.



Gambar 7. Ruang Laboratorium Otomasi Teknik Elektro

AGV dikendalikan secara manual dengan *teleop_twist_keyboard* pada laptop kontrol. AGV bergerak secara simultan dengan jalur seperti pada gambar 8(a). jalur tersebut dibuat berdasarkan beberapa percobaan sehingga didapat jalur yang terbaik seperti pada gambar 8(a). Percobaan tersebut juga menguji kecepatan dari AGV untuk mendapatkan hasil yang terbaik yaitu pada kecepatan 0.25 m/s. Seiring dengan AGV dikendalikan, algoritma *Hector-SLAM* juga dijalankan untuk mendapat data pemetaan yang tampak pada gambar 8(b).

Hasil pemetaan LiDAR berupa gambar dengan metode pengumpulan data *point cloud* menjadi *occupancy grid*. metode ini membagi lingkungan dengan berbentuk kotak – kotak[15]. Setiap kotak akan diisi dengan berbagai warna dengan fungsi tertentu. Warna hitam untuk kotak dengan adanya penghalang, warna putih untuk area yang sudah dijelajahi, sedangkan kotak dengan warna abu-abu untuk daerah yang belum dijelajahi Tabel 3 menunjukkan data perbandingan nilai aktual di laboratorium dengan nilai ukuran pada peta yang dibuat. Peta yang dibuat system diukur dengan menggunakan *software GIMP*. Berdasarkan hal tersebut didapatkan error minimal adalah 0.02% sedangkan error maksimal berada pada angka 0.61%. Hal ini menyatakan AGV dengan LiDAR A1M8 mampu membuat peta dengan baik tanpa jalur kasat mata yang ada ruangan tersebut.



Gambar 8. Peta (a) 2D aktual peta (b) peta yang terbentuk oleh sistem

Tabel 3. Perbandingan ukuran peta berdasarkan pengujian

| Indeks | Aktual (cm) | Terukur (cm) | Error (%) |
|-----------------------|-------------|--------------|-----------|
| A | 400 | 380 | 0.2 |
| B | 1.174 | 1.235 | 0.61 |
| C | 785 | 800 | 0.15 |
| D | 985 | 1.015 | 0.3 |
| E | 260 | 270 | 0.1 |
| F | 123 | 125 | 0.02 |
| Rata - rata Error (%) | | | 0.23 |

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan LiDAR untuk pendeteksian jarak memiliki keunggulan yaitu akurasi tinggi. Berdasarkan pengujian sensor mendapatkan *error* rata-rata dengan sudut pembacaan 0-20° yaitu 0,12%. Sudut tersebut dipilih karena dapat mewakili sudut yang lain dengan nilai *error* yang cenderung sama.

Penerapan sensor LiDAR untuk pemetaan memberikan dampak yang lebih baik dalam melakukan lokalisasi AGV. Hal tersebut karena robot dapat melakukan pemetaan pada ruang atau area kerja tanpa jalur pemandu AGV pada umumnya. Pemetaan lingkungan dengan penggunaan algoritma *Hector-SLAM* memberikan peta yang akurat dengan mengandalkan sensor LiDAR. Berdasarkan pengujian yang dilakukan didapat rata-rata *error* pada peta yang dibentuk oleh sistem adalah 0.23%. Hasil ini menunjukkan bahwa AGV dengan membawa sensor LiDAR mampu membentuk peta dengan akurat pada area yang tidak memiliki jalur pemandu AGV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan tim Labor Otomasi Industri Gedung Teknik Terpadu UNP yang telah memberikan dukungan, inspirasi serta arahan dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Afianto, *Kendali Reroute Automated Guided Vehicle (AGV) Line Follower Sistem P.I.D.* Jakarta Utara: LP2M Politeknik Manufaktur Astra, 2020.
- [2] P. K. Dewa and L. T. Dewi, "Identifikasi Human Error pada Rantai Pasok Industri Kreatif: Adopsi Model SCOR," in *Seminar Nasional IENACO - 2018*, 2018, pp. 554–558.
- [3] K. R. Ririh, "Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode HIRARC dan Diagram Fishbone pada Lantai Produksi PT DRA Component Persada," *Go-Integratif: Jurnal Teknik Sistem dan Industri*, vol. 2, no. 2, pp. 135–152, Nov. 2021, doi: 10.35261/gijtsi.v2i2.5658.
- [4] I. Waldy, A. Rusdinar, and Estananto, "Automated Guided Vehicle (AGV) Navigation and Localization Using Fuzzy Sistem and RFID," *Journal of Measurements, Electronics, Communications, and Systems*, vol. 1, no. 1, pp. D1-6, Dec. 2015, doi: 10.25124/jmecs.v1i1.1481.
- [5] R. A. Firmansyah and E. Alfianto, "Rancang Bangun Driver Motor DC untuk Automatic Guided Vehicle dengan Komunikasi RS485 Menggunakan Fuzzy Logic Controller," in *Pendekatan Multidisiplin Menuju Teknologi dan Industri yang Berkelanjutan*, LPPM - Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS, Sep. 2018, pp. 527–532.
- [6] H. M. Ridlwan, S. Prasetya, and M. Muslimin, "2D Mapping Lingkungan Indoor Menggunakan Lidar dan ROS untuk Mobile Robot," *Jurnal Mekanik Terapan*, vol. 3, no. 2, pp. 60–65, Aug. 2022, doi: 10.32722/jmt.v3i2.4285.
- [7] A. Latif, H. A. Widodo, R. Rahim, and K. Kunal, "Implementation of Line Follower Robot based Microcontroller Atmega32a," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 1, no. 3, pp. 70–74, May 2020, doi: 10.18196/jrc.1316.
- [8] M. Beul, D. Droschel, M. Nieuwenhuisen, J. Quenzel, S. Houben, and S. Behnke, "Fast Autonomous Flight in Warehouses for Inventory Applications," *IEEE Robot Autom Lett*, vol. 3, no. 4, pp. 3121–3128, Oct. 2018, doi: 10.1109/LRA.2018.2849833.
- [9] J. Mehmi, M. Nawari, and R. Y. Zhong, "Smart Automated Guided Vehicles for Manufacturing in the Context of Industry 4.0," *Procedia Manuf*, vol. 26, pp. 1077–1086, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.07.144.
- [10] M. Quigley, B. Gerkey, and W. D. Smart, *Robots with ROS*, First. O'Reilly Media, Inc, 2015.
- [11] P. Dong and Q. Chen, *LiDAR Remote Sensing and Applications*. Florida: Taylor & Francis, 2018.
- [12] Slamtec Team, "Rplidar A1 Introduction and Datasheet," Shanghai Slamtec Co., Ltd. www.SLAMTEC.com, Oct. 15, 2020.
- [13] M. Filipenko and I. Afanasyev, "Comparison of Various SLAM System for Mobile Robot in an Indoor Environment," in *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)*, IEEE, 2018, p. 801. doi: 10.1109/IS.2018.8710464.
- [14] I. Z. Ibragimov and I. M. Afanasyev, "Comparison of ROS-based Visual SLAM Methods in Homogeneous Indoor Environment," in *2017 14th Workshop on Positioning, Navigation and Communications, WPNC 2017*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jan. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/WPNC.2017.8250081.
- [15] J. Porebski, "Occupancy Grid Environmental Modeling for Automotive Applications," AGH University of Science And Technology, Krakow, 2022. Accessed: Feb. 22, 2023. [Online]. Available: <https://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy2/11899/full11899.pdf>