

# REALISASI MULTIROBOT SIMULTANEOUS LOKALISASI DAN MAPPING BERBASIS SENSOR LIDAR

## REALIZATION MULTIROBOT SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING BASE ON LIDAR SENSOR

Viekrie Maifa Chainago<sup>1</sup>, Agung Nugroho Jati, S.T., M.T.<sup>2</sup>, Casi Setianingsih, S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Tekni Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[vimachcyb@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:vimachcyb@student.telkomuniversity.ac.id) <sup>2</sup>[agungnj@telkomuniversity.ac.id](mailto:agungnj@telkomuniversity.ac.id)

<sup>3</sup>[setiacasie@telkomuniversity.ac.id](mailto:setiacasie@telkomuniversity.ac.id)

### Abstrak

Perkembangan dunia robotika akhir-akhir ini berkembang sangat pesat, terutama pada autonomous driving dengan cepat menjadi tantangan besar dalam dunia teknologi robotika, masalah pada lokalisasi dan pemetaan secara simultan selalu menjadi topik perbincangan, tidak hanya itu estimasi pose dan pengenalan ruang pun salah satunya. Tugas akhir ini menyajikan gagasan untuk implementasi *package Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)* pada sistem multi robot yang dilengkapi dengan sensor *Light Detection and Ranging (LIDAR)* dan *Single Board Computer (SBC)* serta arsitektur perangkat lunak dari platform *Robot Operating System (ROS)*.

Penulisan tugas akhir ini akan membahas dan merancang mengenai package SLAM Cartographer yang didukung oleh platform software ROS di dalamnya terdapat *tools Rviz* untuk melakukan atau menampilkan parameter-parameter yang mendukung dan membantu dalam implementasi lokalisasi dan pemetaan ruang pada multi robot dengan mengolah data input sensor LIDAR seperti nilai odometri, *an Inertial Measurement Unit (IMU)*, dan trajectories.

Model perancangan ini dirancang untuk menghasilkan lokalisasi dan pemetaan pada multi robot, dan perancangan ini diimplementasikan untuk memberikan bukti yang berguna untuk memastikan *package cartographer SLAM* dapat digunakan atau salah satu package yang terbaik karena dapat mengolah nilai LIDAR menjadi nilai IMU untuk pelokalisasi dan pemetaan secara realtime secara simultan sehingga terwujudnya implementasi pada SLAM yang efektif dan efisien.

**Kata Kunci:** *autonomous driving, Simultan, SLAM, LIDAR, SBC, Multi robot, Rviz, IMU, trajectories.*

### Abstract

The development of the world of robotics has developed very rapidly lately, it is important that autonomous driving is rapidly becoming a big challenge in the world of robotics technology, the problem of localization and mapping simultaneously is always the topic of conversation, not only in accordance with poses and development. This Final Project Package gives commitment to package implementation. Localization and Simultaneous Mapping (SLAM) on multi-robot systems equipped with Light and Start Detection (LIDAR) sensors and Single Board Computers (SBC) and architectures using the Robot Operating System (ROS) platform.

This thesis writer will discuss and discuss the SLAM Cartographer package which is supported by the ROS software platform in it related to the Rviz tool to perform parameters that support and assist in localizing and monitoring multi-robot space by processing LIDAR data input sensors such as odometry, Inertial Measurement Unit (IMU), and trajectories.

This design model is designed to produce localization and mapping in multi-robots, and this design is implemented to provide useful evidence to ensure SLAM charter packages can be used or one of the best packages because they can process LIDAR values to assess the IMU for localization and monitoring realtime using simultaneous so that the implementation of SLAM is effective and efficient.

**Keywords:** *autonomous driving, Simultaneous, SLAM, LIDAR, SBC, Multi-robot, Rviz, IMU, trajectories*

### 1. Pendahuluan

Sebagaimana kita ketahui perkembangan robotika semakin hari semakin berkembang namun tak luput dari berbagai problem salah satunya dalam hal pelokalisasi dan pemetaan secara simultan dalam realisasi sistem multi robot. landasan yang menjadi penyebabnya adalah kesalahan dalam memilih atau menggunakan *package SLAM* pada platform ROS dan penggunaan algoritma yang tidak cocok. Autonomous driving menjadi salah satu fitur paling dasar dalam dunia robotika untuk menciptakan device yang efektif dan efisien agar dapat diimplementasikan pada sistem multi robot, dengan memperhatikan kualitas *package SLAM* dan algoritma yang digunakan dapat memudahkan robot untuk bermanufer dan melakukan fungsinya.

Dalam perkembangan dunia robotic yang semakin pesat ini penulis dituntut untuk dapat melakukan lokalisasi dan mapping secara efektif dan efisien dengan mengolah data nilai dari inputan sensor LIDAR, salah satu perwujudannya adalah melalui *package* Cartographer SLAM, karna *package* tersebut memungkinkan digunakan untuk lokalisasi yang realtime dan membangun peta yang benar-benar tidak diketahui oleh robot tanpa harus melakukan entri peta lengkap sebelumnya dimana robot dapat dipastikan posisi area yang dieksplorasi dengan mengconvert data lidar menjadi nilai IMU tanpa harus menggunkan sensor tambahan sehingga lebih efisien dalam perancangan.

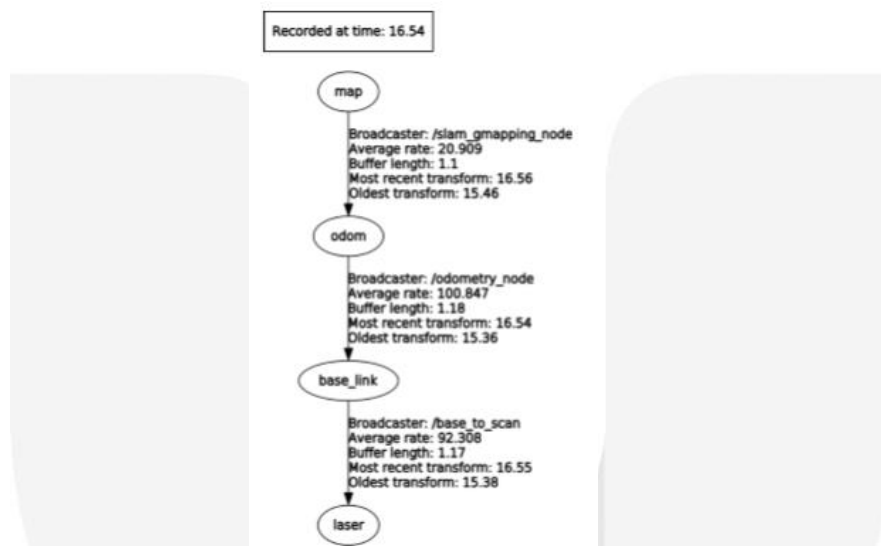
Tak luput pula untuk merealisasikannya dibutuhkan tahapan asosiasi data untuk menyelidiki hubungan antara data lama dengan data yang baru dikumpulkan dan kemudian loop closer untuk robot dapat mengenali suatu lokasi dalam meningkatkan keakuratan peta serta posisi robot sehingga dapat mengupdate peta yang telah dilewati. Sehubungan dengan latar belakang tersebut penulis terdorong melakukan penelitian mengenai “**Realisasi Multi Robot Simultaneous Localization And Mapping Berbasis Sensor Lidar**”.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. SLAM (*Simultaneous Localization and mapping*)

Salah satu fitur paling mendasar dari kecerdasan robot adalah kemampuan bernavigasi secara otomatis. Lokalisasi dan pemetaan simultan, dengan metode SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) memungkinkan robot dapat melakukan pemetaan secara otomatis [1][4].

SLAM juga dapat digunakan untuk lokasi *real-time* dan membangun peta di lingkungan yang benar-benar tidak diketahui tanpa perlu untuk entri peta lengkap di muka. dimana robot dapat memastikan posisi terhadap representasi lingkungan yang sedang dieksplorasi, robot bernavigasi otomatis adalah salah satu robot yang paling umum, dimana robot dapat memecahkan “di mana saya” secara otonom yang merupakan prasyarat untuk navigasi otomatis dan fungsi lainnya [3].



Gambar 1 Proses SLAM

#### a. Data Association

Pada dasarnya, konsep asosiasi data adalah untuk menyelidiki hubungan antara data lama dengan data baru yang dikumpulkan. Dalam konteks SLAM, penting untuk menghubungkan pengukuran data lama dengan yang baru, karna memungkinkan proses penentuan lokasi landmark di area tersebut, dan dengan demikian pula memberikan informasi pada robot dalam *map*

#### b. Loop Closure

Konsep *loop closure* dalam konteks SLAM adalah kemampuan robot untuk mengenali bahwa suatu lokasi telah dikunjungi, dengan menerapkan algoritma *loop closure* keakuratan peta dan posisi robot dapat ditingkatkan.

#### c. General Models for SLAM problem

Model gerak untuk masalah SLAM dapat dilihat dibawah ini:

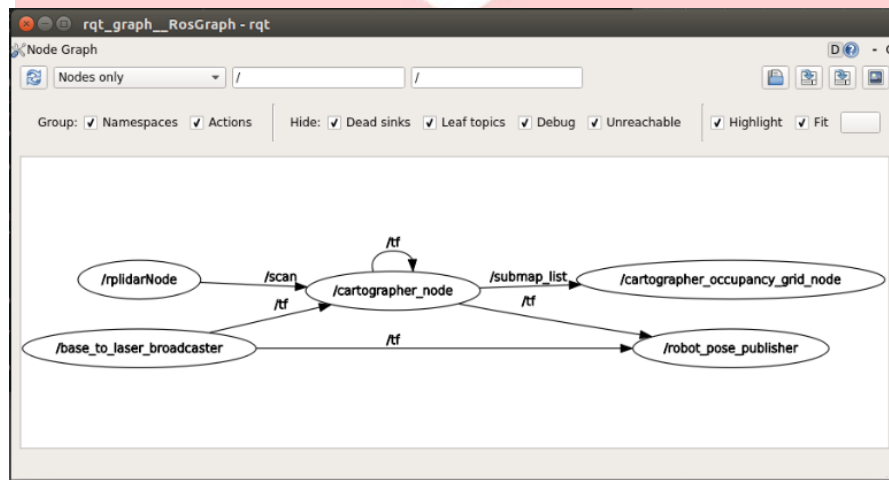
$$x_t = g(u_t, x_{t-1}) + \delta_t \quad (2.1)$$

Dimana pose  $x_t$  saat ini bergantung pada kemungkinan fungsi *nonlinear* yang mungkin  $g(u_t, x_{t-1})$  dan  $u_t$  menjadi kontrol input,  $x_{t-1}$  pose sebelumnya dan  $\delta_t$  menjadi variable Gaussian acak dengan rata-rata nol.

### 4.1. Cartographer SLAM

Cartographer adalah proyek yang semula merupakan proyek inhouse google yang kini telah menjadi open source, google cartographer sendiri digunakan untuk memajukan teknologi pelokalisasi dan pemetaan secara simultan, yang focus terhadap sensor *Light Detection and Ranging (LIDAR) SLAM*.

Cartographer memiliki dua tujuan utama: 1) untuk menyediakan lokalisasi perangkat pada peta virtual dan, 2) untuk menghasilkan (atau memperbarui) peta yang sama. Sistem ini membutuhkan integrasi dengan platform robotika untuk memberikan input sensor, tetapi begitu terhubung, sistem dapat memperoleh peta 2D atau 3D dari area lokal. Komponen pelokalan melibatkan komputasi lintasan perangkat yang diaktifkan indra melalui ruang metrik yang diberikan. Input ke sistem adalah data sensor, dan output adalah estimasi terbaik dari lintasan perangkat yang menyediakan pembacaan sensor. Ini adalah proses probabilistik membandingkan pembacaan sensor dengan peta dasar dalam upaya untuk menemukan kecocokan probabilitas tinggi, sehingga menunjukkan lokasi dan pose khusus untuk perangkat.



Gambar 2 Rqt\_graph dari SLAM Cartographer

a. Relative Transform Error 2D

Memiliki dua pose  $P_i = [x_i; \theta_i] = [x_i, y_i, \theta_i]^T$  dan  $P_j = [x_j; \theta_j] = [x_j, y_j, \theta_j]^T$  transformasi T dari koordinat *frame j* ke koordinat *frame i* memiliki rumus sebagai berikut:

$$T(P_i, P_j) = \begin{bmatrix} R(\theta_i)^T(x_j - x_i) \\ \theta_j - \theta_i \end{bmatrix} \tag{2.2}$$

Dimna where  $R(\theta_i)^T$  adalah matriks rotasi dari  $\theta_i$ .

Error yang dihitung dari  $f : \mathbb{R}^6 \mapsto \mathbb{R}^3$  antara T dan transformasi yang diukur  $T_{ij}^m = [x_{ij}^m, \theta_{ij}^m]$  dari koordinat *frame j* ke koordinat *frame i* dapat dihitung sebagai berikut:

$$f_{relative}(p_i, p_j) = [\omega_t \omega_r] \left( T_{ij}^m - T(p_i, p_j) \right) = \begin{bmatrix} \omega_t (x_{ij}^m - R(\theta_i)^T(x_j - x_i)) \\ \omega_r (\text{clamp}(\theta_{ij}^m - (\theta_j - \theta_i))) \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

Dimna  $\omega_t$  dan  $\omega_r$  adalah bobot untuk terjemahan dan rotasi masing-masing clamp :  $\mathbb{R} \mapsto [-\pi, \pi]$  menormalkan perbedaan sudut.

b. Landmark Cost Function

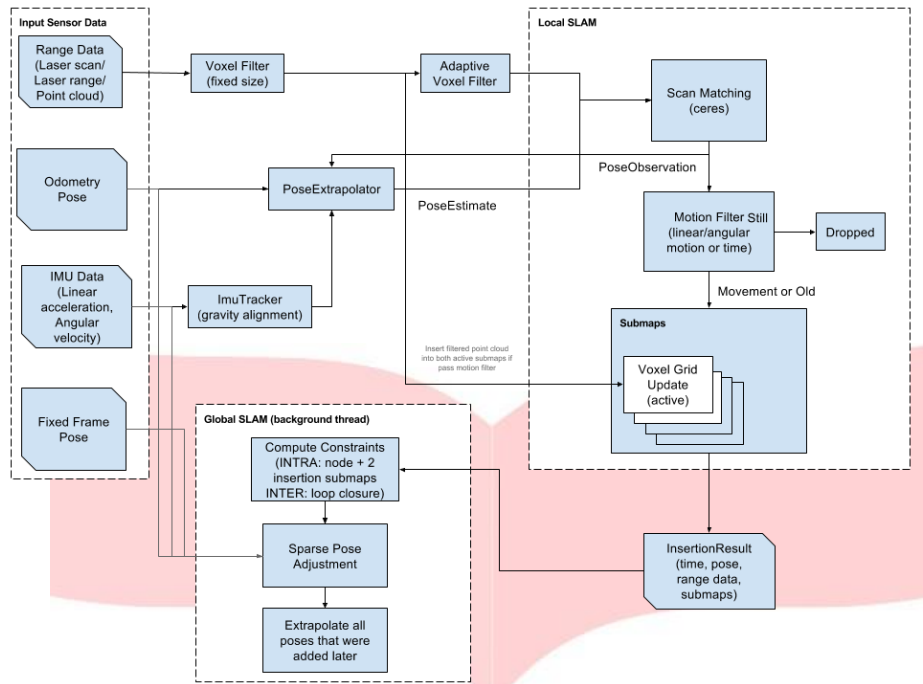
Biarkan  $P_o$  menunjukan SLAM *tracking frame landmark* dengan  $P_l$  global pose. Pengamatan *landmark* itu sendiri adalah transformasi  $T_{ol}^m$  yang diamati pada waktu  $t_o$ , karna *landmark* tidak diamati secara serempak pose pengamatan  $P_o$  dimodelkan diantara dua node  $P_i, P_j$ . Interpolasi antara  $P_i$  dan  $P_j$  ini untuk menerjemahkan empat rotasi SLERP (Spherical Linear Interpolation) :

$$P_o = interpolate(P_i, P_j, t_o) \tag{2.4}$$

Kemudian rumus full, *cost function* terhitung *landmark* dapat ditulis sebagai berikut:

$$f_{landmark}(P_l, P_i, P_j) = f_{relative}(P_l, P_o) = [\omega_t \omega_r] (T_{ol}^m - T(P_o, P_l)) \tag{2.5}$$

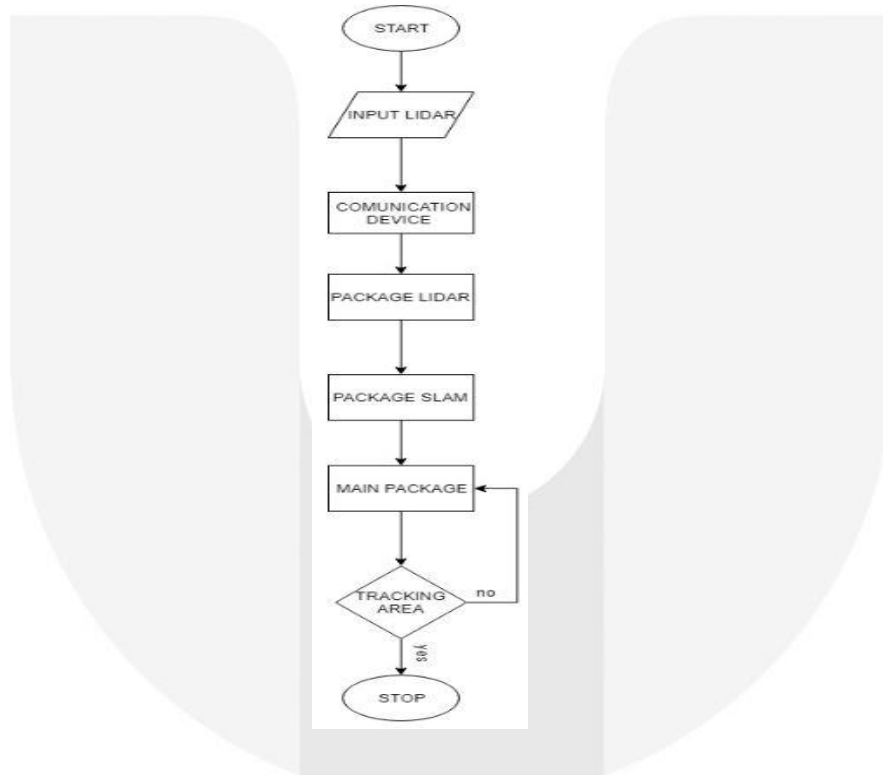
Terjemahan dan bobot rotasi  $\omega_t$  dan  $\omega_r$  adalah bagian dari *landmark observation data* yang diinputkan kedalam cartographer.



Gambar 3 High level system overview of cartographer

### 3. Pembahasan

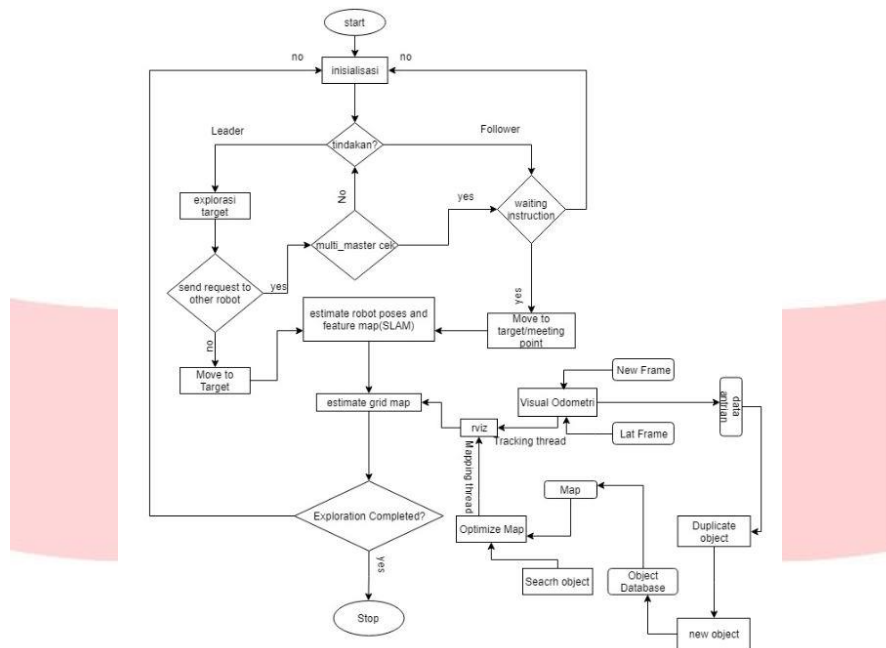
#### 3.1 Perancangan dan implementasi sistem mobile robot



Gambar 4 Diagram alir sistem

Dalam sistem ini untuk robot dapat merepresentasikan map dan komunikasi dengan menggunakan software platform ROS yang didalamnya terdiri beberapa paket seperti, mulai dari paket untuk komunikasi antar device, kemudian paket SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), paket rplidar\_ros, topik untuk orientasi dan posisi robot sampai dengan paket utama.

### 3.2 Implementasi pergerakan multi robot dan visualisasi Rviz



Gambar 5 Diagram alir pergerakan dan visualisasi robot

Didalam diagram alir tersebut, dijelaskan bahwa leader dan follower melakukan inisialisasi sebelum melakukan tindakan kemudian leader melakukan explorasi dari data lidar kemudian mengirim instruksi terhadap follower melalui *multi\_master*, apabila bila leader telah mengirimkan instruksi terhadap follower leader bergerak menuju target disusul oleh follower yang dijadikan titik pertemuan sehingga didapatkan feature map dari SLAM, apabila follower tidak juga mendapatkan instruksi dilakukan proses inisialisasi guna follower dan leader saling komunikasi, kemudian feature map tadi ditampilkan dari Rviz yang didalamnya terdapat proses *Tracking thread* dan *Mapping thread* sehingga explorasi robot dapat divisualisasikan. Apabila explorasi telah selesai maka proses telah berakhir sebaliknya apabila belum selesai maka dilakukan kembali proses explorasi sampai ruangan ditelesuri seluruhnya.

## 4. Pengujian Sistem

### 4.1. Skenario Pengujian

Skenario pengujian pada *Mobile Robot* dilakukan dengan pengujian pada lidar yang mana sebagai sensor pada robot untuk mendeteksi objek disekitar, mendeteksi objek dari segala arah, pengaruh jarak benda dalam mendeteksi objek, pengujian perpindahan posisi dari titik sebelumnya ke titik yang lain dan pengaruh kecepatan navigasi dalam mendeteksi objek.

### 4.2. Pengujian Keakuratan Sensor Lidar dalam mendeteksi Objek

#### 4.2.1 Tujuan Pengujian Pendeteksian Kondisi ruangan

Tujuan dari pengujian pendeteksian kondisi ruangan ini adalah untuk mengetahui kondisi ruangan yaitu berupa objek yang nantinya dapat diolah untuk objek avoidance.

#### 4.2.2 Hasil Pengujian dan Analisa



Gambar 6 Tampilan rviz deteksi tiga dan empat objek

Dari gambar diatas merupakan *mapping* atau jalur dan jumlah objek yang dideteksi oleh robot setelah dilakukan percobaan dengan tiga objek. Dan untuk membuktikan bahwa objek yang ditangkap oleh lidar sama dengan objek yang telah diatur pada suatu ruangan, dapat dilihat dari percobaan setiap ruang dimana tampilan dari rviz menunjukkan terdeteksi tiga dan empat objek. Dapat disimpulkan bahwa lidar dengan package cartographer dapat mendeteksi sama dengan objek yang ada atau  $\pm 100\%$ .

### 4.3 Pengujian deteksi jarak objek

#### 4.3.1 Tujuan Pengujian deteksi jarak objek

Tujuan dalam pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan lidar dalam mendeteksi objek pada ruangan dalam optimasi pembuatan map pada rviz.

#### 4.3.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Table 1 Tabel pengujian deteksi jarak objek yang diameter 30cm

Jarak (m)	Vaktu mendeteksi (s)	aktu merepresentasi mendeteksi (s)	Merepresentasi map
1	0.76	2.78	v
2	0.87	4.63	v
3	0.98	5.99	v
4	2.39	8.05	v
5	-	21.57	x

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa jarak sangat berpengaruh bagaimana lidar mendeteksi dan merepresentasikannya menjadi map.

Table 2 Tabel pengujian deteksi jarak objek yang diameter 46.5cm

Jarak (m)	Vaktu mendeteksi (s)	aktu merepresentasi mendeteksi (s)	Merepresentasi map
1	0.62	2.89	v
2	0.70	3.02	v
3	1.72	5.09	v
4	1.96	7.25	v
5	2.06	9.73	v

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa selain jarak ternyata diameter objek mempengaruhi bagaimana lidar mendeteksi objek dan merepresentasikannya menjadi map.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan Analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan:

1. Dari hasil pengujian deteksi objek telah didapatkan hasil yang sama dengan jumlah objek yang ada pada ruangan tersebut. Dalam pengujian jumlah objek mencapai  $\pm 100\%$
2. Dari hasil pengujian deteksi jarak objek dapat disimpulkan bahwa ukuran objek dan jarak berpengaruh bagi lidar dalam melakukan fungsinya yaitu mendeteksi dan merepresentasikan dalam bentuk map, dan juga semakin dekat dan luas diameternya objek semakin cepat pula lidar mendeteksi dan merepresentasikannya.
3. Dari hasil dan analisis Cartographer SLAM sangat cocok untuk digunakan sebagai package SLAM dengan sensor LIDAR karna dapat mengubah nilai LIDAR menjadi IMU.



**Daftar Pustaka:**

- [1] Yassin Abdelrasoul, Abu Bakar Sayuti HM Saman, Patrick Sebastian. (2017). A Quantitative Study of Tuning ROS Gmapping Parameters and Their Effect on Performing Indoor 2D SLAM. IEEE.
- [2] Johan Alexandersson och Olle Nordin. (2017). Implementation of SLAM algorithms in a small-scale vehicle using model-based development. Master of Science Thesis in Datorteknik, Fordonssystem.
- [3] Wei Chen , Ting Qu, Yimin Zhou, Kaijian Weng, Gang Wang and Guoqiang Fu, (2014). “Door recognition and deep learning algorithm for visual based robot navigation,” IEEE International Conference on Control and Decision Conference (CCDC)2014.
- [4] Xiang Gao 1, Tao Zhang 1, “Loop Closure Detection for Visual SLAM Systems Using Deep Neural Networks,” IEEE Sensors Journal. Vol.13, No.1, pp. 253-262, 2015.
- [5] Ludwig Houégnigan, Pooyan Safari, Climent Nadeu, Michel André, Mike van der Schaar, “Machine And Deep Learning Approaches To Localization And Range Estimation Of Underwater Acoustic Sources” International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, pp. 1-6, 2017.
- [6] Alex Kendall and Roberto Cipolla, “Modelling Uncertainty in Deep Learning for Camera Relocalization,” IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 5403-5410, Mei 2016.
- [7] Sha Luo, Huimin Lu, Junhao Xiao, Qinghua Yu, Zhiqiang Zheng, “Robot Detection and Localization Based on Deep Learning,” Geophysical Journal International, vol. 198, pp. 1-7, April 2017.
- [8] Z. Wenjing, Z. Tiedong, W. Le, and Q. Zaibai, “An improved association method of SLAM based on ant colony algorithm,” 2009 4th IEEE Conf. Ind. Electron. Appl. ICIEA 2009, pp. 1545–1548, 2009.
- [9] H. He, Y. Jia, and L. Sun, “Simultaneous Location and Map Construction Based on RBPF-SLAM Algorithm,” Proc. 30th Chinese Control Decis. Conf. CCDC 2018, pp. 4907–4910, 2018.
- [10] F. Liu, S. Liang, and X. Xian, “Multi-robot task allocation based on utility and distributed computing and centralized determination,” Proc. 2015 27th Chinese Control Decis. Conf. CCDC 2015, pp. 3259–3264, 2015
- [11] S. H. Joo, U. H. Lee, T. Y. Kuc, and J. K. Park, “A robust SLAM algorithm using hybrid map approach,” Int. Conf. Electron. Inf. Commun. ICEIC 2018, vol. 2018-January, no. 7, pp. 1–2, 2018.
- [12] P. Benavidez, M. K. Muppidi, and M. Jamshidi, “Improving visual SLAM algorithms for use in realtime robotic applications,” pp. 1–6, 2015.
- [13] Y.-J. Shih, C.-C. Hsu, W.-Y. Wang, and Y.-T. Wang, “Feature extracted algorithm for simultaneous localization and mapping (SLAM),” pp. 497–498, 2015.
- [14] F. Wen, X. Chai, Y. Li, W. Zou, K. Yuan, and P. Chen, “An improved visual SLAM algorithm based on mixed data association,” Proc. World Congr. Intell. Control Autom., pp. 1081–1086, 2011.
- [15] M. G. Ocando and N. Certad, “Autonomous 3D mapping of an environment , while simultaneously making 2D SLAM , using a single 2D LIDAR and ROS \*,” pp. 2–7, 2017.
- [16] K. Takaya, T. Asai, V. Kroumov, and F. Smarandache, “Simulation environment for mobile robots testing using ROS and Gazebo,” 2016 20th Int. Conf. Syst. Theory, Control Comput. ICSTCC 2016 - Jt. Conf. SINTES 20, SACCS 16, SIMSIS 20 - Proc., pp. 96–101, 2016.
- [17] S. Y. Park and G. H. Lee, “Mapping and localization of cooperative robots by ROS and SLAM in unknown working area,” 2017 56th Annu. Conf. Soc. Instrum. Control Eng. Japan, SICE 2017, vol. 2017-November, pp. 858–861, 2017.