

Rancang Bangun Sistem Lokalisasi Navigasi Pada Robot Pengiriman Paket *Indoor*

Ahmad Habibi ^{1*}, Ardiansyah Al Farouq ¹, and Nanda Iryani ¹

¹ Teknik Komputer, Institut Teknologi Telkom Surabaya, Indonesia

* Correspondence: habibi@student.ittelkom-sby.ac.id

Abstrak: Proses pengiriman dokumen biasanya tidak melibatkan satu orang saja melainkan beberapa orang juga dapat terlibat. Hal ini memungkinkan pekerja melakukan mobilisasi untuk mengirim atau memindahkan dokumen antar ruangan ataupun lantai. Hal tersebut akan memakan waktu dan mengakibatkan pegawai merasakan kelelahan. Perkembangan teknologi berkembang pesat, teknologi robot membantu manusia dalam mengerjakan aktivitas manusia seperti memindahkan dokumen atau paket dari suatu ruangan ke ruangan lain. Robot memerlukan kemampuan untuk mengenali lingkungan sekitar dan memperkirakan posisinya agar dapat membantu manusia dengan baik. Informasi keberadaan ini digunakan untuk menentukan gerakan robot selanjutnya dalam bergerak sesuai dengan tujuan yang ditentukan. Robot akan diuji coba dalam melakukan navigasi dengan 2 cara yakni Realsense T265 dihadapkan kedepan dan keatas. Dari keseluruhan data percobaan yang diperoleh, Realsense T265 yang menghadap ke atas memiliki nilai rata rata *error* yang lebih kecil sebesar 0,2 m pada sumbu X dan 0,09 m pada sumbu Y dibandingkan dengan Realsense T265 yang menghadap kedepan yang memiliki rata rata *error* sebesar 0,31 m pada sumbu X dan 0,2 m pada sumbu Y. Hal ini terjadi karena gambar yang ditangkap lebih stabil ketika kamera ketika menghadap atas dan tidak banyak perubahan *frame* gambar dibandingkan dengan kamera yang menghadap kedepan. Diharapkan dengan adanya sistem lokalisasi *indoor* dapat membantu pekerjaan manusia untuk mengirim paket dalam ruang menggunakan robot pengiriman paket.

Kata Kunci: robot, lokalisasi, RealSense T265.

Design And Build A Navigation Localization System For Indoor Package Delivery Robots

Abstract: The process of sending documents usually does not involve just one person but several people can also be involved. This allows workers to mobilize to send or move documents between rooms or floors. This will take time and cause employees to feel exhausted. Technological developments are growing rapidly, robotic technology helps humans in carrying out human activities such as moving documents or packages from one room to another. Robots need the ability to recognize their surroundings and estimate their position in order to be able to help humans properly. This presence information is used to determine the next robot movement in moving according to the specified destination. The robot will be tested in navigating in 2 ways, namely the

Realsense T265 facing forward and upwards. From all the experimental data obtained, the Realsense T265 facing upwards has a smaller average error value of 0.2 m on the X axis and 0.09 m on the Y axis compared to the Realsense T265 facing forward which has an average error of 0.31 m on the X axis and 0.2 m on the Y axis. This happens because the images captured are more stable when the camera is facing upwards and there is not much change in the image frame compared to the camera facing forward. It is hoped that the existence of an indoor localization system can help human work to send packages in space using package delivery robots.

Keywords: robot, localization, RealSense T265

1. Pendahuluan

Kantor merupakan tempat dimana terdapat banyak orang yang melakukan berbagai aktivitas seperti rapat dan membuat dokumen. Dalam pembuatan dokumen biasanya tidak melibatkan satu orang saja melainkan beberapa orang juga dapat terlibat. Hal ini memungkinkan pekerja melakukan mobilisasi untuk mengirim atau memindahkan dokumen antar ruangan ataupun lantai. Hal tersebut akan memakan waktu dan mengakibatkan pegawai merasakan kelelahan. Diperlukan tenaga non-teknis untuk efisiensi waktu dan mengurangi resiko kelelahan bagi pegawai [1]. Contohnya teknologi robot. Robot adalah suatu perangkat yang dirancang untuk melakukan kegiatan yang biasanya berhubungan dengan manusia atau mesin yang bertugas melakukan serangkaian tindakan berulang atau fleksibel [2]. Sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa robot telah berdampingan dengan manusia dalam bidang industri [3]–[5], transportasi [6]–[8], dan logistik.

Manusia memiliki kemampuan untuk mengenali lingkungan sekitar dan mengetahui posisi dirinya. Kemampuan manusia dalam memperkirakan posisi tersebut memudahkan manusia dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Robot juga memerlukan kemampuan untuk menelusuri area yang telah ditentukan, menghindari rintangan, dan mengenali lingkungan sekitar dengan baik [9]. Lokalisasi diri pada robot adalah kemampuan untuk mengetahui keberadaan robot pada satu waktu. Informasi keberadaan ini digunakan untuk menentukan gerakan robot selanjutnya dalam bergerak sesuai dengan tujuan yang ditentukan [10].

Global Positioning System (GPS) merupakan teknologi yang paling banyak digunakan untuk memperoleh informasi lokasi, termasuk navigasi dan pelacakan. GPS dapat berfungsi dengan baik apabila digunakan ketika di ruangan terbuka. Namun teknologi GPS tidak diperuntukkan untuk memperoleh informasi apakah suatu lokasi dekat dengan tembok, bangunan, atau objek lainnya [11]. Sinyal dari GPS akan lemah apabila digunakan pada suatu ruangan yang tertutup sehingga menyebabkan lokalisasi dalam ruangan tidak maksimal. Melihat adanya permasalahan pada lokalisasi dalam ruangan, usulan solusi untuk memecahkan permasalahan tersebut adalah membuat sistem lokalisasi pada robot pengirim paket yang digunakan di dalam ruangan menggunakan RealSense T265. Dengan sistem lokalisasi tersebut, diharapkan robot dapat mengetahui posisinya pada dalam ruangan untuk membantu meringankan pekerjaan manusia dalam hal mobilisasi paket atau dokumen.

2. Tinjauan Pustaka

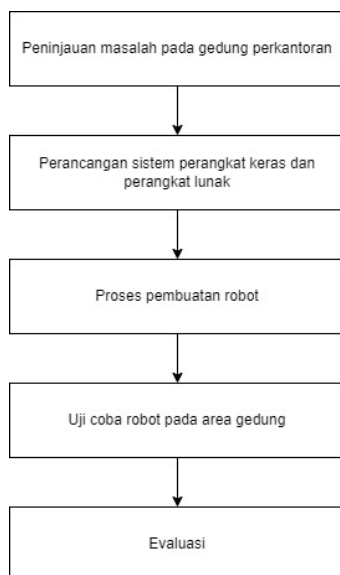
Penelitian sebelumnya terkait lokalisasi melakukan pengujian pada *mobile robot* menggunakan metode SLAM. SLAM digunakan untuk lokasi *real-time* dan membangun peta di lingkungan yang benar-benar tidak diketahui tanpa perlu untuk entri peta lengkap di muka. dimana robot dapat memastikan posisi terhadap representasi lingkungan yang sedang dieksplorasi, dimana robot dapat memecahkan “di mana saya” secara otonom. Pada percobaan ini berfokus pada sensor LiDAR yang

berfungsi untuk mendeteksi objek sekitar 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. Selain itu pengujian juga menggunakan Rviz sebagai visualisasi deteksi yang didapatkan oleh LiDAR. Dari hasil pengujian yang dilakukan, LiDAR mampu mendeteksi seluruh objek yang telah diatur pada setiap ruangan. Selain itu, pengujian deteksi jarak objek dapat mempengaruhi sensor LiDAR dalam melakukan fungsinya. Semakin dekat dan semakin luas diameter objek maka semakin cepat pula sensor LiDAR dalam mendeteksi [12].

Penelitian lain mengenai lokalisasi dilakukan dengan cara membandingkan kinerja RealSense T265 dan ORB-SLAM2. Sistem lokalisasi yang digunakan terdiri atas 4 modul utama yaitu sensor, modul pemetaan, modul eksplorasi, modul *path following*. Sensor yang digunakan adalah kamera RGB-D Intel RealSense D345 untuk mengumpulkan data *point cloud* dari lingkungan sekitar robot kemudian didukung oleh Intel RealSense T265 untuk lokalisasi dengan memanfaatkan kamera stereo *fisheye* dipadukan dengan *inertial measurement unit* [13]. Data *point cloud* dan *pose* akan diproses pada modul pemetaan untuk membuat peta lingkungan sekitar robot. Kemudian modul eksplorasi menggunakan peta dan *pose* robot untuk menentukan kemungkinan lokasi tujuan berikutnya untuk menjelajahi lingkungan yang tidak diketahui. Setelah itu modul *path following* bertanggung jawab untuk mengendalikan robot menuju *waypoint* berikutnya. Hasilnya menunjukkan bahwa kesalahan dalam memberikan lokalisasi yang ketika menggunakan RealSense T265 lebih rendah dibandingkan dengan ORB-SLAM2. RealSense T265 memberikan estimasi pose yang cukup tepat yang dapat langsung digunakan untuk pembuatan peta dari data RGB-D yang disediakan oleh D435.

3. Metode dan Pemodelan

Pelaksanaan penelitian ini, dilakukan dengan beberapa tahapan seperti pada Gambar 1. Pada tahapan awal, sebelum melakukan perancangan sistem robot maka perlu melakukan peninjauan lapangan ke gedung perkantoran terkait kebutuhan dan permasalahan yang terjadi pada saat melakukan proses pengiriman paket.



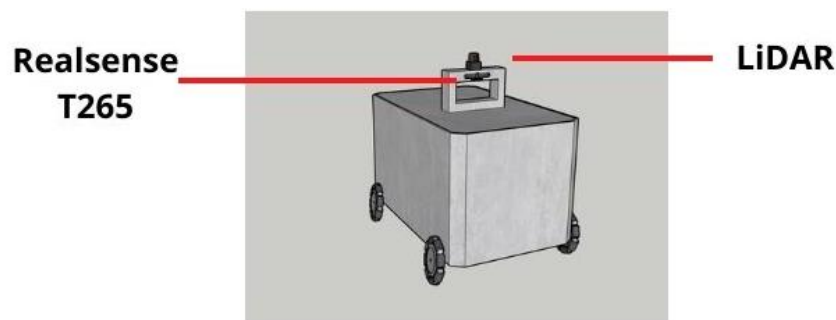
Gambar 1. Metodologi penelitian

Tahap selanjutnya melakukan perancangan perangkat keras meliputi penyusunan komponen dan perkabelan. Setelah perancangan perangkat keras selesai kemudian dilanjutkan dengan merancang perangkat lunak menggunakan ROS sebagai sistem yang memproses pembacaan data sensor. Setelah perancangan selesai, proses pembuatan robot dapat dilaksanakan dan setelah selesai dapat dilakukan pengujian alat yang telah dirancang dengan melakukan uji coba.

Robot dikatakan berhasil apabila dapat berjalan pada posisi yang telah ditentukan. Selanjutnya dilakukan evaluasi apakah robot sudah sesuai dengan yang diinginkan oleh peneliti, apabila tidak sesuai maka kembali melakukan perancangan hingga sesuai dengan yang diinginkan. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis data percobaan yang dihasilkan oleh robot. Jika berhasil maka hasil dari seluruh kegiatan penelitian dapat ditulis dan disusun ke dalam bentuk sebuah laporan.

3.1. Desain Robot

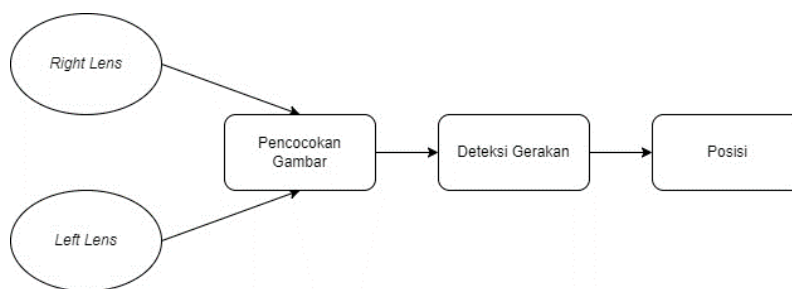
Robot yang digunakan berjenis robot UGV yang dilengkapi dengan kamera sebagai alat bantu robot dalam bernavigasi dan sensor LiDAR guna memetakan ruangan sekitar. *Unmanned Ground Vehicle* yang akan digunakan memiliki spesifikasi panjang 745 mm, lebar 725 mm, dan tinggi 480 mm yang memiliki 2 buah roda depan dan 2 buah roda belakang. Aluminium akan digunakan sebagai bahan kerangka, bahan tersebut digunakan karena tidak mudah berkarat, ringan dan gampang dibentuk sehingga cocok digunakan pada robot untuk membawa barang. Detail bentuk robot yang digunakan adalah pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur perangkat robot

3.2. Sistem kerja

Data *odometry* dari perangkat Intel RealSense T265 digunakan untuk menentukan posisi dan orientasi dalam ruang. Intel RealSense T265 memiliki kamera RGB yang bekerja bersama dengan IMU untuk memantau pergerakan dan memproduksi data *odometry*. Dengan menggunakan metode *optical flow* dan SLAM, Intel RealSense T265 dapat memperkirakan posisi dan orientasi robot secara *real-time*. *Optical Flow* adalah sebuah metode yang dimana digunakan untuk mendeteksi pergerakan objek yang akan dilakukan oleh pengguna sistem ini. *Optical Flow* berarti aliran pergerakan sebuah objek bergerak yang dimana berdasarkan turunan dari intensitas cahaya pergerakan objek tersebut. Pada ruang dimensi 2D, *optical flow* berarti pada seberapa jauh piksel objek berpindah pada dua frame yang berurutan. Sedangkan pada ruang dimensi 3D, *optical flow* berarti seberapa jauh volume piksel pada sebuah objek yang berpindah pada 2 volume yang berurutan. Perpindahan piksel dalam frame maupun volume tersebut akan menyebabkan perubahan intensitas cahayanya. Sistem yang dibuat ini akan menggunakan kamera yang akan menangkap perubahan gerakan objek seiring dengan perubahan posisi yang dilakukan oleh robot dan kemudian akan diproses oleh *Computer Master*.

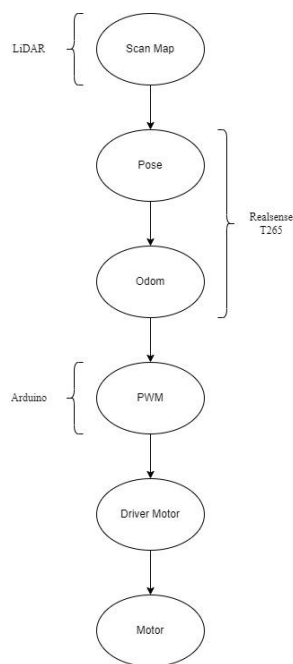


Gambar 3. Sistem kerja Realsense T265

Realsense T265 memiliki dua kamera *fisheye* yang dapat menerima gambar lingkungan sekitar. Kamera *fisheye* mengambil data gambar secara berulang dalam rentang waktu tertentu. Data gambar tersebut kemudian diolah untuk menemukan fitur visual seperti sudut, bentuk, atau pola unik yang ada di lingkungan sekitar sebagai tanda untuk melacak pergerakan objek. Realsense T265 menggunakan teknik pencocokan fitur untuk mencocokkan fitur-fitur yang ada antara *frame* gambar yang berurutan. Dengan membandingkan perbedaan posisi fitur-fitur, Realsense T265 dapat mengestimasi pergerakan relatif antara dua *frame* gambar secara akurat. Selain informasi visual dari kamera, Realsense T265 juga menggunakan data inersial dari akselerometer dan *gyroscope*. Data inersial membantu mengurangi ketidakakuratan yang mungkin terjadi dalam pembacaan posisi berbasis kamera. Dengan menggabungkan data pergerakan relatif dan informasi inersial, Realsense T265 dapat menemukan posisi ketika di dalam ruangan.

Data posisi yang didapatkan dari Realsense T265 kemudian diintegrasikan dengan sensor *Light Detection and Ranging* (LiDAR) menggunakan sistem program *Robot Operating System* (ROS). ROS menyediakan *package* berupa SLAM yang memungkinkan dalam menghasilkan data posisi robot dan membangun peta secara simultan atau bersamaan. SLAM berperan untuk menyelaraskan dan menggabungkan data dari Realsense T265 dan LiDAR, sehingga robot dapat bergerak secara otonom sambil mengetahui posisi dalam peta yang sedang dibangun. Realsense T265 melakukan pengolahan fitur visual dari gambar yang diambil oleh kamera *fisheye*, sedangkan LiDAR diperlukan untuk membentuk peta 2D dengan memancarkan sinar laser. Algoritma SLAM menggabungkan data posisi dari Realsense T265 dan data peta 2D dari LiDAR untuk membangun dan memperbaharui peta lingkungan sekaligus melacak posisi robot dalam peta tersebut. Dengan SLAM, robot dapat membuat peta lingkungan sekitar sambil menentukan posisi dan orientasinya dalam peta tersebut.

Robot bisa dikatakan melakukan navigasi apabila robot dapat bergerak dari titik awal ke titik yang ditentukan. Dalam penelitian ini proses navigasi akan diolah oleh *Robot Operating System* untuk melakukan tugas menggerakkan robot. Sistem yang bekerja dimulai dari pembacaan kondisi lingkungan sekitar oleh LiDAR dengan berputar dan memancarkan cahaya laser yang kemudian dipantulkan kembali saat bertemu dengan objek atau permukaan dalam lingkungan sekitar sehingga membentuk peta 2D.

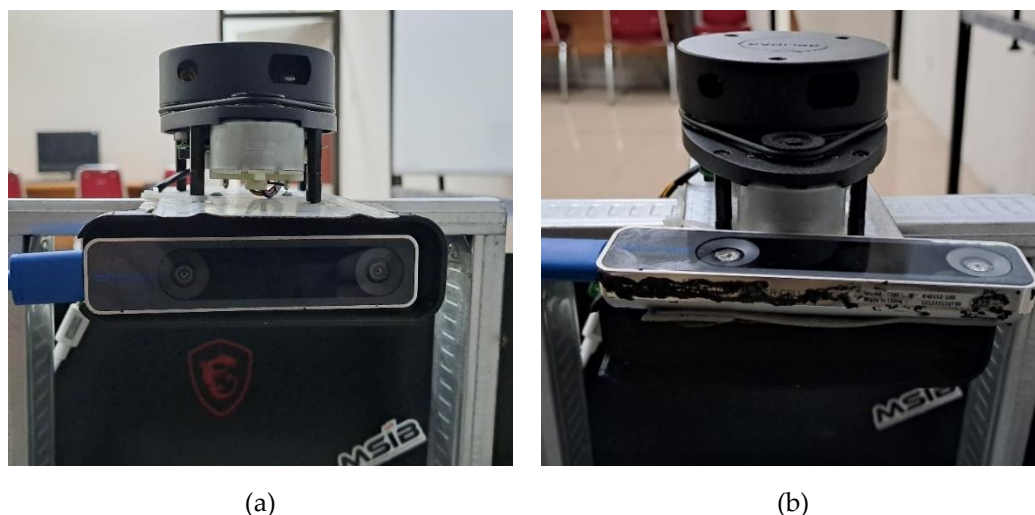


Gambar 4. Proses navigasi

Sesuai dengan Gambar 4. Data sensor dari LiDAR dapat diintegrasikan kamera Realsense T265 dengan program ROS untuk mendapatkan data posisi yang akurat terhadap peta menggunakan data *pose* dari RealsenseT265. Selain *pose*, kamera Realsense T265 juga dapat menghasilkan data odometri sebagai penentu arah gerak robot dalam melakukan navigasi. Data odometri dihasilkan dari pengolahan fitur visual seperti sudut, bentuk, atau pola unik yang ada di lingkungan sekitar sebagai tanda untuk melacak pergerakan objek. Kemudian data odometri didistribusikan dan diolah menggunakan program ROS agar robot dapat membaca arah yang akan dituju dan dapat dikirimkan dengan perangkat mikrokontroler Arduino. Data odometri yang diterima akan diolah oleh Arduino dengan mengirimkan *Pulse Width Modulation* atau PWM kepada driver motor sehingga motor dapat menggerakkan roda untuk robot dapat bergerak sesuai dengan data yang diterima.

4. Hasil dan Analisa

Pengumpulan data dilakukan pada ruang salah satu gedung di Surabaya yang memiliki bidang yang datar, memiliki luas yang cukup sehingga memudahkan robot untuk bergerak dan melakukan uji coba. Setelah titik awal ditentukan, robot diprogram untuk melakukan pergerakan menuju koordinat yang diinginkan. Perhitungan pengukuran dari program dengan pengukuran data nyata menggunakan alat ukur *roll meter* atau meteran. Percobaan yang dilakukan adalah memberi nilai pada koordinat X sedangkan nilai koordinat Y adalah nol. Kemudian percobaan dilanjutkan dengan memberi nilai pada koordinat Y sedangkan nilai koordinat X adalah nol. Titik koordinat dapat dimasukkan kedalam program menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) sederhana yang dibuat menggunakan program *python*. Setiap percobaan yang dilakukan akan dibedakan antara kamera Realsense T265 menghadap kedepan dan menghadap keatas seperti pada Gambar 5. Hal ini bertujuan sebagai data perbandingan yang dilakukan saat percobaan.



Gambar 5. Posisi kamera, (a) merupakan pengujian ketika kamera menghadap ke depan; (b) merupakan pengujian ketika kamera menghadap ke atas

4.1. Uji coba kamera menghadap depan

Tabel 1. Percobaan navigasi robot terhadap koordinat X

Percobaan	X Target	X Nyata	Delta X
1	1	1,19	0,19
2	1,2	1,42	0,22
3	1,4	1,63	0,23
4	1,6	1,79	0,19
5	1,8	2,04	0,24
6	2	2,24	0,24
7	2,2	2,42	0,22
8	2,4	2,74	0,34
9	2,6	2,91	0,31
10	2,8	3,28	0,48
11	3	3,45	0,45
12	3,2	3,54	0,34
13	3,4	3,68	0,28
14	3,6	3,96	0,36
15	3,8	4,08	0,28
16	4	4,51	0,51
Rata Rata Error			0,31

Program diatur dengan memberi nilai target yang berbeda pada koordinat X disebut sebagai X Target. Lalu nilai dari X Nyata didapat dari hasil pengukuran posisi robot berada menggunakan alat *roll meter*. Berdasarkan Tabel 1. kedua nilai tersebut dibandingkan dengan rata-rata selisih 0,31 m. Terdapat perbedaan nilai saat pengukuran, hal ini dikarenakan sistem pengukuran yang dilakukan oleh robot menggunakan pengolahan gambar dari kamera Realsense T265. Gambar yang diterima pada saat dilakukan percobaan memiliki banyak fitur visual yang berbeda seperti objek meja dan objek kursi sehingga nilai yang dihasilkan memiliki perbedaan dengan pengukuran asli.

Tabel 2. Percobaan navigasi robot terhadap koordinat Y

Percobaan	Y Target	Y Nyata	Delta Y
-----------	----------	---------	---------

1	-1	-1,19	0,19
2	-1,2	-1,27	0,07
3	-1,4	-1,35	0,05
4	-1,6	-1,68	0,08
5	-1,8	-1,91	0,11
6	-2	-2,2	0,2
7	-2,2	-2,43	0,23
8	-2,4	-2,58	0,18
9	-2,6	-3,04	0,44
10	-2,8	-3,22	0,42
Rata Rata Error			0,20

Tabel 2. merupakan data percobaan ketika robot melakukan navigasi terhadap sumbu Y. Robot akan mengubah arah hadap robot searah dengan sumbu Y. Setelah dilakukan percobaan untuk menuju titik koordinat Y Target, nilai rata - rata *error* terhadap Y sebesar 0,2 m. Hal ini dikarenakan kamera menangkap lebih sedikit perubahan fitur visual dan perbedaan jarak tempuh robot yang lebih pendek dibandingkan dengan robot saat bernavigasi pada sumbu X.

4.2. Uji coba kamera menghadap atas

Tabel 3. Percobaan navigasi dengan kamera keatas terhadap koordinat X

Percobaan	X Target	X Nyata	Delta X
1	1	1,09	0,09
2	1,2	1,36	0,16
3	1,4	1,55	0,15
4	1,6	1,69	0,09
5	1,8	1,92	0,12
6	2	2,15	0,15
7	2,2	2,36	0,16
8	2,4	2,53	0,13
9	2,6	2,9	0,3
10	2,8	3	0,2
11	3	3,38	0,38
12	3,2	3,56	0,36
13	3,4	3,75	0,35
14	3,6	3,86	0,26
15	3,8	4,01	0,21
16	4	4,2	0,2
17	4,2	4,31	0,11
Rata-rata Error			0,20

Tabel 3. merupakan data pembandingan dengan Gambar 4. 5. Yang membedakan adalah arah hadap kamera yang berbeda. Pada Gambar 4. 10. ialah data robot bernavigasi pada sumbu X dengan Realsense T265 menghadap ke atas. Menurut data percobaan yang telah dilakukan, kamera yang menghadap keatas memiliki rata - rata *error* sebesar 0,2 m. Ketika kamera Realsense menghadap ke atas, gambar yang ditangkap merupakan objek plafon dimana objek tersebut tidak memiliki banyak fitur visual sehingga perbedaan *error* pada data percobaan lebih kecil dibandingkan dengan kamera menghadap keatas.

Tabel 4. Percobaan navigasi dengan kamera keatas terhadap koordinat Y

Percobaan	Y Target	Y Nyata	Delta Y
1	-1	-1,05	0,05
2	-1,2	-1,31	0,11
3	-1,4	-1,39	0,01
4	-1,6	-1,58	0,02
5	-1,8	-1,94	0,14
6	-2	-2,13	0,13
7	-2,2	-2,24	0,04
8	-2,4	-2,49	0,09
9	-2,6	-2,71	0,11
10	-2,8	-3,02	0,22
Rata Rata Error			0,09

Tabel 4. merupakan data percobaan ketika robot melakukan navigasi terhadap koordinat Y dengan arah kamera Realsense T265 menghadap ke atas. Robot akan berjalan menuju titik Y Target kemudian dibandingkan dengan pengukuran *real* menggunakan alat ukur *roll meter*. Dari percobaan yang telah dilakukan, rata rata *error* robot bernavigasi menuju Y Target sebesar 0,09 m.

5. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa robot mampu melakukan lokalisasi dan navigasi menggunakan kamera Realsense T265 dengan arah hadap yang berbeda. Hasil yang didapat pada saat dilakukan percobaan robot bergerak pada koordinat X dengan rata – rata *error* 0,31 m dengan kamera menghadap kedepan sedangkan ketika kamera menghadap keatas rata – rata *error* yang didapat sebesar 0,2 m. Robot juga diuji coba bergerak pada koordinat Y dengan hasil rata – rata *error* sebesar 0,2 m dengan kamera menghadap kedepan sedangkan ketika kamera menghadap keatas rata – rata *error* sebesar 0,09 m. Bisa disimpulkan bahwa Intel Realsense T265 dapat diimplementasikan sebagai lokalisasi dan navigasi pada robot pengiriman paket dalam ruangan dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Referensi

- [1] R. B. Pratikto, E. Setiawan, and D. Syauqy, "Rancang Bangun Simulasi Robot Beroda untuk Pengiriman Barang di dalam Gedung berbasis Metode Particle Filter," vol. 5, no. 8, pp. 3229–3236, 2021, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [2] A. Al Farouq, M. I. Riansyah, and A. Habibi, "Unmanned Aerial Vehicle Robot untuk Pemadam Api dengan Rancangan Alat Pemadam yang Efisien," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, p. 11, 2021, doi: 10.25077/jnte.v10n1.839.2021.
- [3] L. Pérez, E. Diez, R. Usamentiaga, and D. F. García, "Industrial robot control and operator training using virtual reality interfaces," *Comput. Ind.*, vol. 109, pp. 114–120, 2019, doi: 10.1016/j.compind.2019.05.001.
- [4] M. Doyle-Kent and P. Kopacek, "Adoption of collaborative robotics in industry 5.0. An Irish industry case study," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, no. 13, pp. 413–418, 2021, doi: 10.1016/j.ifacol.2021.10.483.
- [5] F. Bader and S. Rahimifard, "A methodology for the selection of industrial robots in food handling," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 64, no. February, p. 102379, 2020, doi: 10.1016/j.ifset.2020.102379.
- [6] C. K. M. Lee, B. Lin, K. K. H. Ng, Y. Lv, and W. C. Tai, "Smart robotic mobile fulfillment system with dynamic conflict-free strategies considering cyber-physical integration," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 42, no. April, 2019, doi: 10.1016/j.aei.2019.100998.
- [7] A. Tagliabue, M. Kamel, R. Siegwart, and J. Nieto, "Robust collaborative object transportation using multiple MAVs," *Int. J. Rob. Res.*, vol. 38, no. 9, pp. 1020–1044, 2019, doi: 10.1177/0278364919854131.
- [8] R. Chinoracký and T. Čorejová, "Impact of digital technologies on labor market and the transport sector," *Transp. Res. Procedia*, vol. 40, pp. 994–1001, 2019, doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.139.
- [9] Y. Oktabrian, E. Setiawan, and D. Syauqy, "Pemetaan Ruangan Menggunakan Ar . Drone Dengan

- Metode LSD-SLAM,” vol. 5, no. 1, pp. 250–259, 2021.
- [10] S. T. Rasmana, H. Harianto, P. Susanto, A. P. Abseno, and Z. Z. Raga Permana, “Lokalisasi Mobile Robot berdasarkan Citra Kamera OMNI menggunakan Fitur Surf,” *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 5, p. 1079, 2020, doi: 10.25126/jtiik.2020712539.
- [11] B. Al-Madani, F. Orujov, R. Maskeliūnas, R. Damaševičius, and A. Venčkauskas, “Fuzzy logic type-2 based wireless indoor localization system for navigation of visually impaired people in buildings,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 9, 2019, doi: 10.3390/s19092114.
- [12] V. M. Chainago, A. N. Jati, and C. Setianingsih, “Realisasi Multirobot Simultaneous Lokalisasi Dan Mapping Berbasis Sensor Lidar Realization Multirobot Simultaneous Localization and Mapping Base on Lidar Sensor,” *J. e-Proceeding Eng. Vol.6, No.2*, vol. 6, no. 2, pp. 5794–5800, 2019.
- [13] J. Bayer and J. Faigl, “On autonomous spatial exploration with small hexapod walking robot using tracking camera intel RealSense T265,” *2019 Eur. Conf. Mob. Robot. ECMR 2019 - Proc.*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ECMR.2019.8870968.



22 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).