

Robot Logistik berbasis IoT untuk Memonitoring Pasien dan Pengiriman Logistik Selama Pandemi COVID-19

Isa Hafidz^{1*}, Dimas Adiputra¹, Billy Montolalu², Wahyu Andy Prastyabudi³,
Helmy Widyantara³, Mas Aly Afandi⁴,

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom Surabaya, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

²Teknik Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom Surabaya, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

³Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Informasi, Institut Teknologi Telkom Surabaya, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

⁴Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia

*Corresponding author, e-mail: isa@ittelkom-sby.ac.id

Abstract— Coronavirus disease (COVID-19) is a disease that disrupts the respiratory tract and infects many people. However, until now, there is still no cure. Therefore a robot service is proposed to minimize direct contact between nurses and patients who are equipped with PPE (Personal Protective Equipment). Robot Service is a robot carrying logistics for patients in the Isolation Room. The robot is expected to be able to help medical personnel work and reduce the risk of medical personnel being exposed to the virus while in the Isolation Room. This robot has a feature to rotate and move along the hospital hallway, using either automatic or normal mode. This robot is also equipped with an Omni infrared camera that can see the environmental conditions around the robot so that it can make it easier for operators to run this robot with a Wi-Fi communication system. With this robot, medical workers can deliver the needs of patients without having to meet face to face, so that the risk of being exposed to the virus can be reduced.

Keywords: Coronavirus, Hospital, Medical Personnel, Robot

Abstrak— Penyakit virus Corona (COVID-19) merupakan penyakit yang mengganggu saluran pernafasan dan banyak menginfeksi banyak orang. Namun, hingga saat ini masih belum ditemukan pengobatannya. Oleh sebab itu diusulkan sebuah robot service untuk meminimalisir kontak langsung antara perawat dan pasien yang dilengkapi dengan APD (Personal Protective Equipment). Robot Service adalah robot pembawa logistik untuk pasien di Ruang Isolasi. Robot tersebut diharapkan dapat membantu tenaga medis bekerja dan mengurangi risiko tenaga medis terpapar virus selama berada di Ruang Isolasi. Robot ini memiliki fitur untuk berputar dan bergerak di sepanjang lorong rumah sakit, baik menggunakan mode otomatis maupun mode normal. Robot ini juga dilengkapi dengan kamera omni infrared yang dapat melihat kondisi lingkungan sekitar robot, sehingga dapat memudahkan operator dalam menjalankan robot ini dengan sistem komunikasi Wi-Fi. Dengan robot ini, tenaga medis dapat menyampaikan kebutuhan pasien tanpa harus bertatap muka, sehingga risiko terkena virus dapat dikurangi.

Kata Kunci : Coronavirus, Robot, Rumah Sakit, Tenaga Medis.

1. Pendahuluan

Virus Corona 2019 (Covid 19) merupakan sebuah virus penyebab penyakit pernafasan akut parah yang dinamakan sindrom pernafasan coronavirus 2 (SARS CoV 2). Virus ini merupakan keluarga virus RNA yang memiliki rantai tunggal positif yang dikenal dengan coronaviridae [1]. Seperti virus influenza, SARS CoV 2 mempengaruhi sistem pernafasan, sehingga penderitanya memiliki gejala penyakit seperti

batuk, demam, sesak nafas, serta kelelahan. Pembawa coronavirus ini berasal dari gen kelelawar dan juga virus yang pertama kali dilaporkan di kota Wuhan [2], [3]. Peningkatan pesat dalam jumlah insiden COVID 19 di seluruh dunia telah mendorong perlunya penanggulangan efek dari pandemi ini.

Wabah COVID-19 yang masif telah mendorong berbagai ilmuwan, peneliti, laboratorium, dan organisasi di seluruh dunia untuk melakukan

Received date 2020-08-23, Revised date 2020-11-28, Accepted date 2020-11-29

<https://doi.org/10.25077/jnte.v9n3.810.2020>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

penelitian berskala besar untuk membantu mengembangkan vaksin dan strategi pengobatan lainnya. Dalam beberapa bulan setelah wabah COVID-19, beberapa makalah yang meneliti berbagai aspek mengenai virus tersebut telah diterbitkan [4] - [6].

Sistem perawatan kesehatan di seluruh dunia saat ini ditantang untuk melakukan pelayanan yang minim kontak (social distancing) guna menekan penyebaran virus corona. Karena itu rumah sakit perlu mempertimbangkan cara yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitasnya. Optimasi dan otomasi proses logistik adalah salah satu cara di mana efisiensi penggunaan sumber daya di lingkungan rumah sakit dapat ditingkatkan.

Latar belakang teknologi saat ini, perangkat medis IoT mewakili arah pengembangan di masa depan [7]. *Internet of Things* (IoT) adalah jaringan perangkat: ia menggunakan Internet, jaringan telekomunikasi tradisional, dan pembawa informasi lainnya untuk memungkinkan semua objek biasa yang dapat melakukan fungsi independen untuk mewujudkan jaringan yang saling berhubungan [8]. IoT dapat dipandang sebagai infrastruktur global untuk masyarakat informasi [9], memungkinkan layanan lanjutan dengan menghubungkan hal-hal (fisik dan virtual) berdasarkan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang ada dan berkembang. Dalam latar belakang teknologi saat ini, perangkat medis IoT mewakili arah pengembangan masa depan.

Beberapa produk yang tersedia secara komersial sudah ada seperti MiR100 oleh *Mobile Industrial Robot* dan *Swisslog AGVs* [10]. Namun, pengembangan teknologinya masih berlanjut dengan tujuan meningkatkan kekokohan fungsi navigasi, meningkatkan antarmuka pengguna dan menurunkan biaya produksi. Cabang kedua terkait dengan pengembangan teknologi dikenal sebagai *robot assist*. Sistem saat ini dapat dikategorikan sebagai jembatan antara AGV dan robot humanoid.

Penggunaan robot rumah sakit pertama diperkenalkan sebagai bagian dari proyek HelpMate pada tahun 1992 [11]. Alat ini dirancang untuk memberikan persediaan farmasi dan catatan pasien. Sistem navigasi HelpMate memanfaatkan struktur lingkungan secara spesifik dengan bantuan sensor. Keadaan ruangan dan lorong rumah sakit digunakan memetakan jalur robot. Implementasi lain yang menarik dalam domain rumah sakit diwujudkan dalam penelitian lokalisasi hibrida dengan menggunakan metode Multi Hypothesis

Localization (MHL) [12]. *Robot assist* yang juga mengalami perkembangan teknologi yaitu bernama HOSPI [13]. Robot ini merupakan robot logistik yang bekerja di rumah sakit dimana diproduksi oleh Panasonic. HOSPI saat ini sedang diuji dalam empat rumah sakit di Jepang.

Secara keseluruhan, kemajuan teknologi robot yang telah dikerjakan dalam lima tahun terakhir dan juga hasil proyek pecontohan menjelaskan bahwa teknologi yang implementatif diperlukan untuk mengurangi dampak penyebaran dan korban dari COVID-19 di masyarakat. Namun, robot logistik yang telah disebutkan pada riset sebelumnya tidak dapat membawa logistik dingin dan logistik dalam jumlah yang banyak. Di sisi lain, kendali robot otomatis tidak cocok untuk diterapkan di Indonesia karena alasan keselamatan. Maka, diusulkan sebuah prototype robot logistik oleh Institut Teknologi Telkom Surabaya (ITTS) yang dapat dibuat secara mandiri sebagai sarana membantu petugas medis yang ada di rumah sakit. Tidak hanya itu, terdapat beberapa kebaruan di robot logistik ini. Pertama, rak tingkat untuk menambah kapasitas beban robot logistik. Yang kedua adalah lemari pendingin untuk menambah variasi logistik yang dapat dibawa. Dan yang ketiga adalah kendali jarak jauh menggunakan kamera dan remot kontrol berbasis IoT agar robot logistik dapat berjalan sendiri namun tetap dalam kendali manusia. Studi ini mengimplementasikan ketiga macam keterbaruan tersebut pada prototype robot logistik rumah sakit dan menganalisis performansinya.

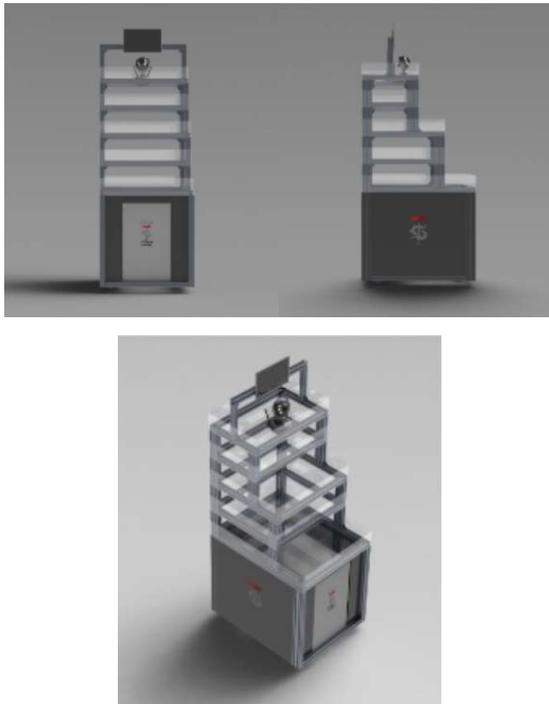
2. Metode Pembuatan

2.1 Desain Mekanik

Bentuk dan ukuran robot perlu menyesuaikan dimensi ruangan di rumah sakit, seperti lift, koridor, dan kondisi medan jalan. Selain itu, alat ini juga harus memiliki ruang yang cukup untuk membawa kebutuhan logistik pasien. Dalam implementasinya, dimensi dari robot ini memiliki panjang 70 cm, lebar 55 cm, serta tinggi 180 cm. Hal ini memungkinkan robot untuk dapat bergerak secara dinamis dan berputar 360 derajat dengan radius putar 1.5 m. Selain itu digunakan rangka aluminium jenis *Connect* 20 x 40 cm dan lebar 2 cm yang solid namun mudah dimodifikasi. User dapat mengubah desain sesuai dengan kebutuhan pasien.

Untuk menggerakkan robot ini, maka digunakan motor jenis stepper PG 45 dengan incremental encoder dengan torsi 25 kgfcm. Seluruh motor terhubung dengan sumber tegangan pada terminal

12 V. Kontrol putaran robot menggunakan driver motor L298N.



Gambar 1. Sketsa 3D Robot Service pada Berbagai Sudut

Spesifikasi ini sesuai dengan beban dengan kapasitas maksimal robot, yaitu 150 kg. Sedangkan massa kosong robot terhitung seberat 8 Kg. Jenis roda penggerak belakang menggunakan model *Otoped Wheel* dengan diameter Roda sebesar 180 mm. Bahan yang digunakan adalah roda karet. Sedangkan untuk roda depan digunakan Secara keseluruhan, jenis *Omni Wheel* dengan ukuran diameter 100mm.

Kecepatan maksimum yang bisa dioperasikan hingga 0.8 m/s dan dapat diatur hingga 0.2 m/s. Pengereman jarak dari kecepatan maksimum dan beban penuh adalah 4 cm. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, robot dapat membawa beban rak lemari serta lemari pendingin portable yang terpasang kuat pada base alat.

2.2 Desain Elektrik

Robot medis ini menggunakan komponen perangkat keras terbaru. Skema dari sistem dapat dilihat pada Gambar 2. Mikrokontroler Arduino R3 dan ATmega 328 SMD merupakan sebuah set

otomasi yang menjalankan perintah navigasi, komputasi daya, serta perangkat I/O utama pada robot. Selain dapat mengendalikan komponen I/O pada level rendah disediakan tombol panel reset dan LED untuk kondisi darurat. Set perangkat elektronik ini juga terhubung dengan kulkas *mobicool*, tab layer sentuh Huawei, driver motor stepper, kamera omni *Ez-Viz*, dan aki.

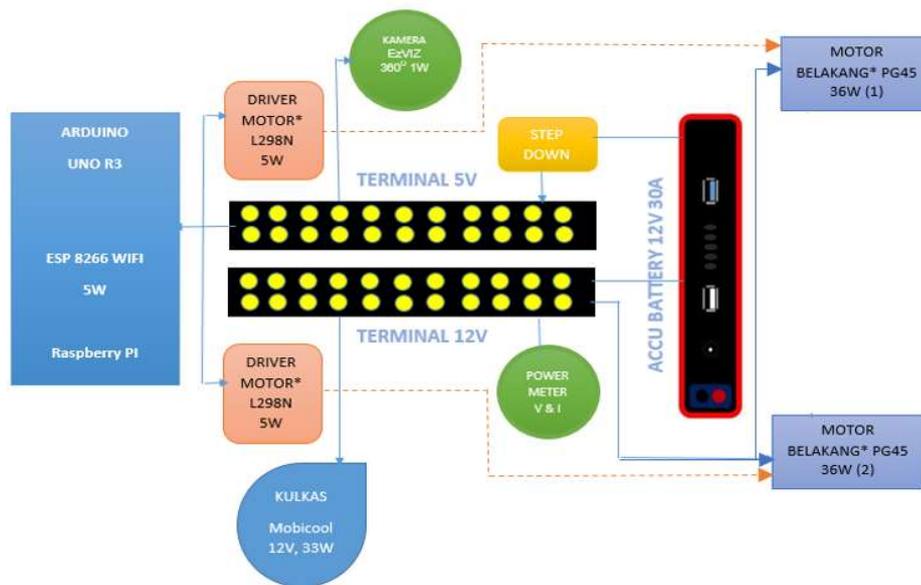
Protokol *Powerlink Ethernet* juga telah didukung dengan jaringan TCP/IP. *Wi-Fi router* mampu berkomunikasi pada kecepatan 2.4 GHz dan 5 GHz. Protokol *Powerlink Ethernet* berfungsi sebagai backbone peralatan komunikasi Robot. Pengguna dapat merasakan kenyamanan yang lebih dengan menggunakan sentuhan tambahan panel terpasang langsung di pintu cabinet dengan modul tab layer sentuh.

Selain itu juga ditambahkan lemari pendingin sebagai tempat penyimpanan obat-obatan sebagai pendukung alat bantu logistik pembawa makanan dan obat-obatan. Temperatur lemari ini dapat diatur sesuai kebutuhan, dimana memiliki spesifikasi konsumsi tegangan dan daya 12V, 33W. Kulkas ini memiliki kapasitas aktual sebesar 20 liter dengan fungsi pendingin dan penghangat. Suhu minimum yang bisa digunakan adalah 25 derajat celsius dengan dimensi 46.5 x 30.8 x 35.1 cm

2.3 Kontrol Robot

Pelokalan dan pemetaan yang komprehensif sangat penting untuk semua jenis AGV yang canggih. Namun, konsep ini tidak menyelesaikan yang mendasar ketika robot akan bergerak ke tujuan pada lingkungan yang dikenal. Oleh karena itu, dibutuhkan integrasi tingkat fungsionalitas lebih lanjut yang dikenal dengan konsep *Path Planning*.

Alat ini perlu menentukan posisi sebenarnya untuk kemudian berjalan menuju posisi targetnya pada koordinat yang ditentukan. Oleh sebab itu, perlu membuat lintasan diantara dua titik tersebut. Dimungkinkan beberapa pendekatan berbeda merujuk pada dimensi lingkungan, ukuran robot, dan kondisi lingkungan terkait. Dalam kasus ini, dimana robot bekerja pada lingkungan yang dinamis dengan banyak gerakan, solusi paling mudah adalah untuk mengimplementasikan perencana lintasan. Konsep ini sesuai untuk area public. Kendaraan akan mampu menghindari rintangan secara dinamis, saat bepergian ke target tujuan.



Gambar 2. Rangkaian Skematik Rangkaian Robot Service

Gambar 3 menunjukkan perbandingan visualisasi Gerakan robot dari hasil perhitungan dan kondisi sebenarnya. Faktor paling utama dari *Path Planning* adalah fungsi perencanaan. Beberapa pendekatan dari konsep ini yang paling populer di antaranya adalah Murni Algoritma Pelacakan Jalur [14]- [16].

Kita dapat memisalkan lokasi robot saat ini (x, y) pada koordinat global. Jangkauan kamera kedepan dimisalkan dengan jarak konstan L . Keadaan L menjelaskan bahwa kamera robot dipasang tanpa dapat dirubah rubah posisinya selama robot beroperasi, sehingga jarak kamera terhadap lintasan depan robot dijelaskan dalam kondisi tersebut. Algoritma menghitung radius R_{track} dari busur yang dipadukan dengan lokasi kendaraan saat ini (x, y) dapat dituliskan sebagai berikut

$$x_L^2 + y_L^2 = L^2 \tag{1}$$

$$a_L^2 + y_L^2 = R_{track}^2 \tag{2}$$

$$x_L + a = R_{track} \tag{3}$$

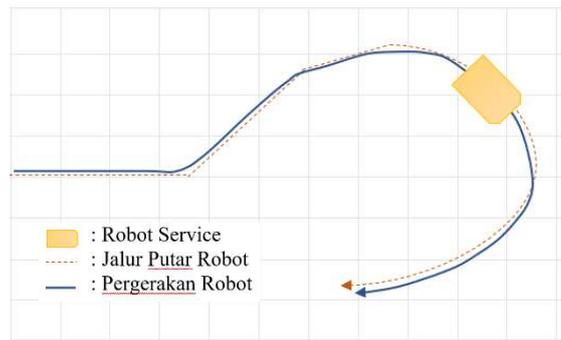
Dengan mengekspresikan persamaan 3 dan meletakkannya ke persamaan 2. Maka dapat diperoleh pada persamaan matematis.

$$(R_{track} - x_L)^2 + y_L^2 = R_{track}^2 \tag{4}$$

$$R_{track}^2 - 2R_{track} x_L + x_L^2 + y_L^2 = R_{track}^2 \tag{5}$$

Sehingga

$$R_{track} = \frac{L^2}{2x_L} \tag{6}$$

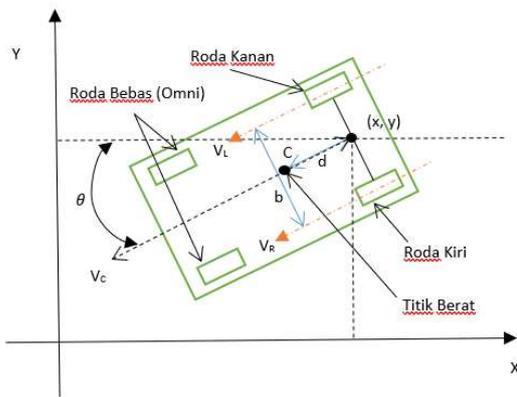


Gambar 3. Visualisasi Algoritma Kontrol Saat Gerakan Robot Berputar

Nilai lacak yang telah dicari menentukan jari jari rotasi lingkaran robot. Kelengkungan jari-jari berbanding terbalik dengan nilai Lacak, atau dapat dituliskan ($1 / \text{Lacak}$). Algoritma ini diulang setiap siklus. Untuk kondisi lainnya, titik pandang depan dan jari-jari busur yang baru akan ditentukan dihitung kembali. Persamaan gerak dinamis dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan Lagrange [17]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i \tag{7}$$

Dimana L adalah turunan dari energi kinetik, T , dan potensial, U , energi, q_i adalah koordinat umum, dan Q_i adalah gaya keseluruhan yang ada pada sisem mekanis. Diasumsikan bahwa robot service bergerak hanya pada bidang datar, maka energi potensialnya adalah 0 ($U = 0$).



Gambar 4. Visualisasi Algoritma Kontrol Saat Gerakan Robot Berputar

Gambar 4 mengilustrasikan visualisasi secara matematis arah jalan robot. Untuk mencari energi kinetik dari robot dapat dijelaskan pada persamaan berikut ini.

$$T = T_i + T_r + T_{rwr} \quad (8)$$

Dimana T_{rwr} adalah energi kinetik dari rotasi roda dan rotor dari DC motor, T_r adalah energi kinetik dari rotasi robot, dan T_t adalah energi kinetik dari translasi robot. Secara berurutan masing masing dalam bentuk satuan ($kgmm^2/s^2$). Nilai dari energi tersebut dapat diekspresikan dalam bentuk persamaan dibawah ini.

$$T_t = \frac{1}{2}mv_c^2 = \frac{1}{2}(x_c^2 + y_c^2) \quad (9)$$

$$T_r = \frac{1}{2}I_A\theta^2 \quad (10)$$

$$T_{rwr} = \frac{1}{2}I_0\theta_R^2 + \frac{1}{2}I_0\theta_L^2 \quad (11)$$

3. Hasil dan Diskusi

Kemampuan robot dieksplorasi di rumah sakit soewandi Surabaya, Indonesia. Robot ini digunakan untuk mengangkut logistik makanan dan obat-obatan di ruang perawatan pasien. Terdapat rak bertingkat untuk menambah kapasitas pengangkutan robot, serta kulkas pendingin kecil untuk obat-obatan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Untuk tujuan ini, khusus kabinet rak, dilengkapi dengan kunci yang dikendalikan secara magnetic.

Ketika sedang beroperasi, perangkat ini harus dapat menangani situasi lalu lintas yang berbeda secara memadai dan menangani berbagai komplikasi terkait lingkungan. Data yang diperoleh selama operasi uji awal membantu peneliti dalam pengembangan dan penyelesaian komprehensif fitur navigasi dan penghindaran tabrakan dalam software ITTS VideoCall.



Gambar 5. Robot Service Ketika Siap Digunakan di Rumah Sakit

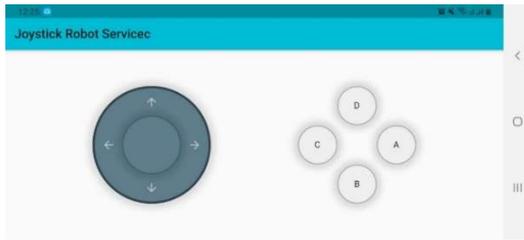
Panel sentuh layanan 4,3 inch dipasang di platform dasar memungkinkan pengguna, khususnya dokter dan pasien, untuk berkomunikasi jarak jauh. Gambar 6 dan 7 menunjukkan layar panel kontrol manual sebagaimana dirancang dalam *Android Studio*. Pengujian respon wireless remote control terhadap jarak jangkauan sumber atau Hotspot Wifi dapat dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Komunikasi Wireless Robot terhadap Jangkauan Sumber Wifi

| No | Jarak (Meter) | Rata-rata waktu respon (Milliseconds) | Gagal Response |
|----|---------------|---------------------------------------|----------------|
| 1 | 10 | 516 | 0 |
| 2 | 20 | 530 | 0 |
| 3 | 30 | 580 | 1 |
| 4 | 40 | 800 | 6 |
| 5 | 50 | 988 | 10 |

Saat ini, Pathfinder menawarkan mode kemudi manual dan otomatis. Mode manual sangat penting selama fase implementasi. Saat beralih ke mode Manual, Pathfinder mengatur perintah kemudi yang dikeluarkan oleh remote control, dengan mengkombinasikan mikrokontroller Arduino dan aplikasi Android. Kombinasi ini memungkinkan ketepatan kontrol gerak seluruh platform, dan ini sangat penting saat mengatur alur perjalanan kendaraan. Gambar 6 menunjukkan Kamera Omni sebagai penangkap gambar kondisi lingkungan di sekitar robot dengan tampilan dari sudut 360 derajat dan mampu mendukung komunikasi real time dengan speaker suara.

Piranti ini juga didukung 4 lampu LED Inframerah sehingga pengemudi tetap dapat merekam di keadaan minim cahaya. Software komunikasi yang digunakan diberi nama ITTS VideoCall.



Gambar 6. Joystik Android pada Penggunaan Mode Manual



Gambar 7. Penampakan Kamera EzViz pada Aplikasi IT Telkom Videocall untuk Pengemudian Robot dan Komunikasi

4. Kesimpulan

Penyakit COVID-19 adalah penyakit menular yang disebabkan oleh corona virus jenis baru, yang masih belum ditemukan metode pengobatannya. Diperlukan sebuah robot meminimalisir terjadinya kontak langsung antara perawat dengan pasien. Robot Service merupakan sebuah kendaraan pembawa logistik kebutuhan pasien. Keberadaan alat ini mampu membantu kerja tenaga medis dan mengurangi risiko tenaga medis terpapar virus selama di Ruang Isolasi. Keterbaruan dari robot ini yaitu rak bertingkat yang dapat diatur ukurannya untuk membawa logistik makanan, kemudian terdapat lemari pendingin untuk penyimpanan obat-obatan, serta didukung pengendali jauh dengan menggunakan kamera dan remot control berbasis IoT. Robot ini memiliki fitur untuk bergerak maju, mundur, geser ke kiri, geser ke kanan hingga

gerakan berputar 360 derajat. Selain itu, piranti ini juga dilengkapi oleh kamera omni yang dapat melihat kondisi lingkungan sekitar kendaraan, sehingga dapat memudahkan operator maupun tenaga medis untuk pengoperasiannya. Dokter dan pasien bahkan dapat berkomunikasi melalui perangkat software ITTS VideoCall yang terdapat pada android. Robot Service menggunakan dua motor dan dua driver untuk menggerakkan motor dengan beban maksimum 150 kg. Sebuah alat komunikasi dipasang yang terhubung dengan jaringan Wi-Fi Rumah Sakit.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Institut Teknologi Telkom Surabaya, khususnya Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) yang telah memfasilitasi penelitian ini. Selain itu juga kepada Pemerintah Kota Surabaya, dan Rumah Sakit Soewandi Surabaya atas bantuan baik materiil maupun non-materiil dalam pengerjaan robot service.

Daftar Pustaka

- [1] Zhou, L., Liu, H.G. 2020. "Early Detection and Disease Assessment of Patients With Novel Coronavirus Pneumonia". National Library of medicine [online], 43 (3), 167-170, (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32164079/>, diakses 24 April 2020).
- [2] Chen N, Zhou M, Dong X, Qu J, Gong F, Han Y et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. Lancet. 2020;395(10223):507-513.
- [3] World Health Organization, Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report 46, 2020
- [4] R. Baldwin and E. Tomiura, "Thinking ahead about the trade impact of COVID-19," Economics in the Time of COVID-19, p. 59, 2020.
- [5] N. Chen, M. Zhou, X. Dong, J. Qu, F. Gong, Y. Han, Y. Qiu, J. Wang, Y. Liu, Y. Wei et al., "Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study," The Lancet, vol. 395, no. 10223, pp. 507–513, 2020.
- [6] F. Jiang, L. Deng, L. Zhang, Y. Cai, C. W. Cheung, and Z. Xia, "Review of the clinical characteristics of coronavirus

- disease 2019 (COVID-19),” *Journal of General Internal Medicine*, pp. 1–5, 2020.
- [7] S. Deng, H. Wu, W. Tan, Z. Xiang, and Z. Wu, “Mobile service selection for composition: An energy consumption perspective,” *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 14, no. 3, pp. 1478–1490, Jul. 2017.
- [8] R. Buyya and A. V. Dastjerdi, *Internet of Things: Principles and Paradigms*, 1st ed. San Mateo, CA, USA: Morgan Kaufmann, 2016.
- [9] S. Deng, L. Huang, J. Taheri, J. Yin, M. Zhou, and A. Y. Zomaya, “Mobility-aware service composition in mobile communities,” *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Syst.*, vol. 47, no. 3, pp. 555–568, Mar. 2017.
- [10] Bacik, J., Durovsky, F., Biroš, M., Kyslan, K., Perdukova, D., & Padmanaban, S. (2017). Pathfinder-Development of Automated Guided Vehicle for Hospital Logistik. *IEEE Access*, 5, 26892–26900. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2767899>
- [11] J. Evans, B. Krishnamurthy, B. Barrows, T. Skewis, and V. Lumelsky, “Handling real-world motion planning: A hospital transport robot,” *IEEE Control Syst.*, vol. 12, no. 1, pp. 15–19, Feb. 1992.
- [12] P. Jensfelt and S. Kristensen, “Active global localization for a mobile robot using multiple hypothesis tracking,” *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 17, no. 5, pp. 748–760, Oct. 2001.
- [13] Panasonic HOSPI. [Online]. (Aug. 15, 2017). Available: <http://news.panasonic.com/global/topics/2015/44009.html>
- [14] K. Berntorp, “Path planning and integrated collision avoidance for autonomous vehicles,” in *Proc. Amer. Control Conf. (ACC)*, Seattle, WA, USA, 2017, pp. 4023–4028.
- [15] R. C. Coulter, *Implementation of the Pure Pursuit Path Tracking Algorithm*. Pittsburgh, PA, USA: Carnegie Mellon Univ. Jan. 1992. [Online]. Available: <https://goo.gl/zixSBRA>. G., Fan, Z., Dawids, S., et al.: ‘Service robots for hospitals: a case study of transportation tasks in a hospital’. *IEEE Int. Conf. Automation and Logistik*, Shenyang, China, 2009, pp. 289–294.
- [16] G. Grisetti, R. Kümmerle, C. Stachniss, and W. Burgard, “A tutorial on graph-based SLAM,” *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.*, vol. 2, no. 4, pp. 31–43, Feb. 2010.
- [17] S. M. LaValle. *Planning Algorithms*. Cambridge University Press, New York, 2006.
- [18] E. Ivanjko, T. Petričić, and I. Petrović, “Modelling of mobile robot dynamics,” *Fac. Electr. Eng. ...*, no. January 2010, 2010.