

ESTIMASI POSISI VERTIKAL ELEVATOR PADA PURWARUPA AGV LOGISTIK

David Kristi¹, M.B.Nugraha^{2*}

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Multimedia Nusantara, Tangerang, Indonesia¹

*korespondensi: mb.nugraha@umn.ac.id

Abstract

The warehousing industry has undergone significant transformation through automation as part of the 4.0 Industry Revolution. This transformation encompasses various types of warehouses, including commercial, hospital, and nuclear facility ones. The utilization of robots in the automation of storage processes has turned warehouses into fully autonomous entities, albeit requiring substantial initial investments. As an alternative, the use of robot pickers enables the retrieval of items without the need for intricate initial designs, optimizing existing infrastructure. While Indonesia still imports automated robots, the exploration of robot picker technology is currently underway. Deeper research is needed, especially in the context of robot lifting systems, to support the rapid growth of the warehousing industry. This study focuses on the design of a vertical elevator and gripper system for logistics AGVs, with a comparison of height estimation methods to achieve the highest accuracy in elevator movement outcomes. From the test results, a success rate of only 31.25% and 39.38% was achieved, possibly due to gearbox slip issues, resulting in very low accuracy.

Keywords: Automated Guided Vehicle, Industry 4.0, Robot Lifting System.

Abstrak

Industri pergudangan telah mengalami transformasi signifikan melalui otomasi yang merupakan bagian dari Revolusi Industri 4.0. Transformasi ini melibatkan berbagai jenis pergudangan, termasuk yang komersial, rumah sakit, dan fasilitas PLTN. Penggunaan robot dalam proses otomasi penyimpanan telah mengubah gudang menjadi entitas otomatis sepenuhnya, meskipun membutuhkan investasi awal yang substansial. Sebagai alternatif, penggunaan robot picker memungkinkan pengambilan barang tanpa perlu perancangan awal yang rumit, mengoptimalkan infrastruktur yang sudah ada. Meskipun Indonesia masih mengimpor robot otomasi, penelusuran teknologi robot picker sedang dalam proses. Penelitian lebih mendalam diperlukan, khususnya dalam konteks sistem pengangkatan robot, terutama untuk mendukung pertumbuhan pesat industri pergudangan. Penelitian ini berfokus pada perancangan sistem vertikal elevator dan gripper untuk AGV (*Automated Guided Vehicle*) logistik, dengan perbandingan metode estimasi ketinggian untuk mencapai akurasi terbaik dalam hasil pergerakan elevator. Dari hasil pengujian, keberhasilan pengujian hanya didapatkan 31,25% dan 39,38% yang kemungkinan dihasilkan oleh sistem girboks mengalami slip sehingga akurasi yang didapatkan sangat rendah.

Kata Kunci: Automated Guided Vehicle, Industri 4.0, Sistem Robot Pengangkat

I. PENDAHULUAN

Salah satu industri yang mengalami proses otomasi dari proses Revolusi Industri 4.0 adalah industri pergudangan. Pergudangan yang dimaksud dapat pergudangan komersial, namun juga dapat berlaku pada rumah sakit [1] dan fasilitas PLTN [2]. Dalam [3] dijelaskan penggunaan robot yang ada dalam otomasi penyimpanan dan sistem-sistem yang disebutkan sudah cukup untuk menciptakan gudang yang otomatis secara penuh. Namun gudang seperti demikian membutuhkan perancangan yang khusus sejak awal yang memiliki biaya mahal di awal, yang menurut salah satu data dari [4] memiliki besaran rata-rata sebesar £3,9 juta atau Rp. 77,5 miliar per proyek di Inggris. Solusi lainnya dapat menggunakan *robot picker* yang mengambil barang tanpa memerlukan perancangan khusus sejak awal menggunakan jalur manusia yang sudah ada. Untuk mengurangi batasan dari robot yang akan ditelusuri, digunakan gudang yang tidak menggunakan palet; dengan kata lain, gudang yang merupakan tempat penyimpanan dari barang yang belum dikemas. Dua contoh yang dapat diberikan adalah *inVia™ Picker* dan *TORU* dari *Magazino™*. Kedua robot tersebut dapat menggunakan sistem penyimpanan yang sudah ada tanpa memerlukan biaya pemasangan yang mahal apabila dibandingkan dengan yang metode biasa.

Kelebihan dari robot bergerak adalah kemampuan untuk dengan mudah menambahkan robot tambahan ketika diperlukan untuk meningkatkan kapasitas pemrosesan gudang, serta kemudahan dalam penyesuaian dengan

perubahan kapasitas pengerjaan yang dibutuhkan. Oleh karena itu, *robot picker* adalah alat yang bagus untuk melakukan usaha otomasi pada gudang yang sudah ada dengan menggunakan komponen lokal yang lebih murah. Namun di Indonesia robot otomasi secara umum masih merupakan hasil distribusi dari luar negeri, maka dari itu adalah baik apabila ditelusuri teknologi yang digunakan dalam *robot picker* ini.

Banyak kajian ilmiah yang telah meneliti pendekatan teknologi AGV (*Automated Guided Vehicle*) dari berbagai segi oleh baik dari luar maupun mahasiswa Indonesia. Beberapa diantaranya adalah penggunaan *PID tuning* [5], *PID adaptif* [6], *PID-Fuzzy* [7], *Fuzzy* [8] [9], *deep-learning* [10], analisis roda [11], analisis tangan AGV [12], analisis lokalisasi RFID [13] [14] [15], pencarian jalur yang efisien [16], *collision avoidance* [17], dan *information fusion* [18]. Analisis pengangkatan telah dilakukan oleh Aditama [19] dimana dilakukan analisis statik, dan perancangan dan pengangkatan AGV dilakukan oleh Montreano [12], namun pekerjaan mereka tersebut tidak membahas sistem pengangkatan dari AGV tersebut karena bercondong ke sistem keseluruhan. Oleh karena itu, penelitian yang dilakukan akan bercondong ke sistem pengangkatan robot.

Penelitian ini berfokus pada perancangan sistem vertikal dari elevator dan *gripper* dari AGV logistik dengan membandingkan metode estimasi untuk mendapatkan ketinggian yang paling akurat dari hasil pergerakan elevator.

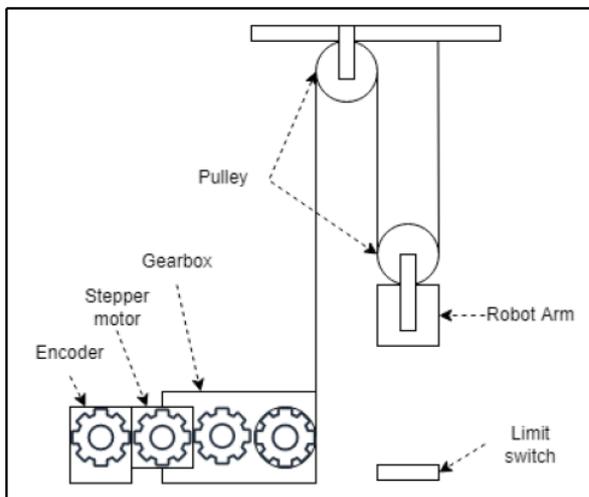
II. METODOLOGI

A. Sistematika Penulisan

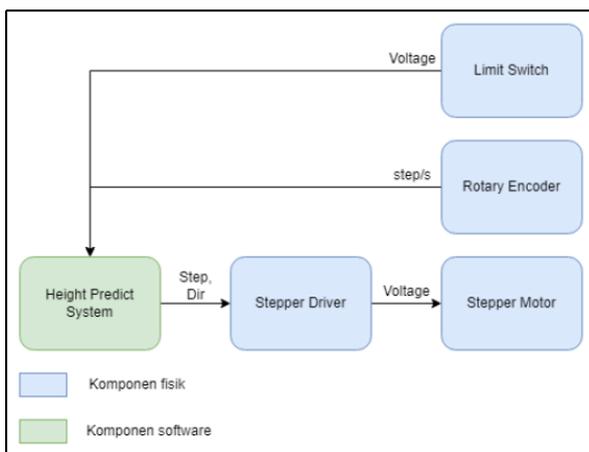
Pengujian dilakukan dengan merancang sistem pengangkatan, yang terdiri dari:

- 1) Sistem katrol,
- 2) Gearbox dengan rasio 18,96:1,
- 3) Stepper motor 17HE1404,
- 4) Stepper driver DRV8825,
- 5) Sensor digital encoder KY-040,
- 6) Limit switch,
- 7) Arduino Mega 2560,
- 8) Power Supply Unit.

Sistem secara keseluruhan memiliki skema pengerjaan seperti Gambar 1 dengan menggunakan printer 3D sebagai bahan material sistem. Pengaturan dari kecepatan *stepper motor* adalah kecepatan konstan dengan jeda step adalah $5500\mu s$. *Data Flow Diagram* dari sistem dirancang seperti Gambar 2.



Gbr 1. Skema Keseluruhan Sistem



Gbr 2. Data Flow Diagram Sistem Pengangkat

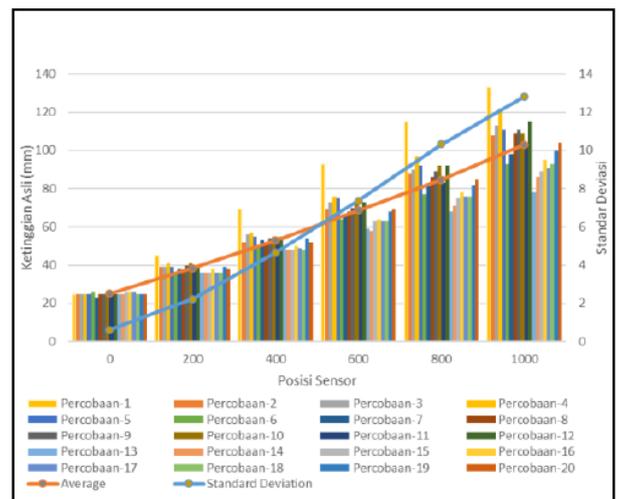
B. Metodologi

Pendekatan dari estimasi ketinggian dilakukan dengan melakukan terlebih dahulu kalibrasi pembacaan *encoder* terhadap ketinggian, dan estimasi kecepatan perubahan ketinggian. Dengan melakukan regresi linier terhadap kedua hal tersebut, didapatkan fungsi linier dengan standar deviasinya. Dengan menggunakan fungsi linier sebagai rata-rata

dari *probability distribution function* (pdf) normal beserta standar deviasi masing-masing, maka didapatkan probabilitas dari ketinggian dari masing-masing pendekatan.

C. Kalibrasi Encoder

Pengujian *encoder* dilakukan dengan meningkatkan ketinggian tangan robot sampai *encoder* membaca nilai tertentu dengan interval 200. Hasil dari pengujian *encoder* ditampilkan pada Gambar 3 yang telah diberikan nilai rata-rata di setiap posisi dan standar deviasi dari setiap interval pembacaan *encoder*. Pada grafik dilihat bahwa pada nilai awal ketinggian memiliki deviasi yang rendah, namun seiring meningkatnya pembacaan *encoder*, deviasi pun meningkat. Untuk mengkompensasikan hal tersebut, deviasi dari probabilitas pembacaan *encoder* juga dilakukan regresi linier.



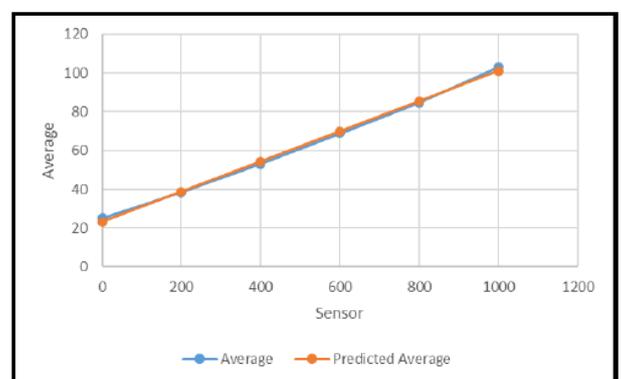
Gbr 3. Kalibrasi Encoder terhadap Ketinggian Asli

Hasil regresi dari rata-rata ketinggian terhadap pembacaan *encoder* didapatkan menjadi seperti pada Tabel 1 dan Gambar 4 dengan persamaan seperti berikut.

$$h_e(x) = 0,0778x + 23,2619 \quad (1)$$

Tbl 1. Hasil Regresi Ketinggian Terhadap Pembacaan Sensor

| Variabel | Konstanta |
|-----------|-----------|
| Gradien | 0,0078 |
| Konstanta | 23,2619 |



Gbr 4. Regresi Linier Encoder terhadap Ketinggian

Di mana h adalah prediksi ketinggian dan x adalah pembacaan *encoder*. Hasil regresi dari standar deviasi

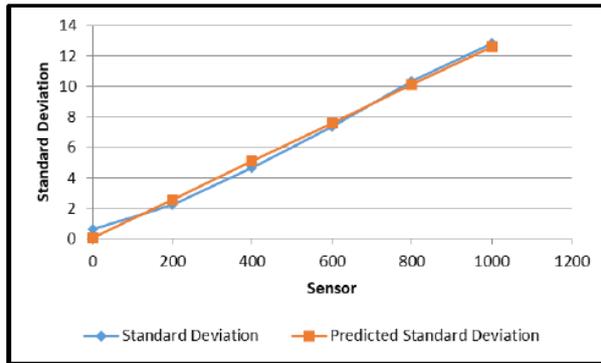
ketinggian terhadap pembacaan *encoder* adalah seperti Gambar 5 dengan persamaan regresi-nya didapatkan seperti berikut.

$$s_e(x) = 0,0126x + 0,0520 \quad (2)$$

dimana s_e adalah standar deviasi metode *encoder*.

Tbl 2. Hasil Regresi Deviasi Standar terhadap Sensor

| Variabel | Konstanta |
|-----------|-----------|
| Gradien | 0,0126 |
| Konstanta | 0,0520 |



Gbr 5. Regresi Linier *Encoder* terhadap Standar Deviasi

D. Estimasi Kecepatan Perubahan Ketinggian

Estimasi kecepatan perubahan ketinggian dilakukan dengan melihat data dari hasil pembacaan *encoder* lalu mengambil kecepatan perubahan ketinggian dari satu interval ke interval lainnya. Kecepatan dari stepper motor didapatkan berhubungan dengan ketinggian asli dari tangan robot secara positif. Hasil dari pengolahan data estimasi kecepatan perubahan ketinggian terhadap ketinggian asli tangan robot ditampilkan pada Gambar 6. Hubungan tersebut dilakukan regresi linier dan didapatkan seperti berikut.

$$v(h) = 0,0054h + 0,7154 \quad (3)$$

Di mana v adalah kecepatan perubahan ketinggian dengan standar deviasi konstan (s_v) sebesar 0,0663. Standar deviasi digunakan konstan karena data tidak dapat dikategorikan berdasarkan tinggi asli tangan robot. Estimasi kecepatan perubahan ketinggian dapat dilakukan integrasi untuk mendapatkan estimasi perubahan ketinggian seperti berikut.

$$h_v(h) = \int v(h) \cdot dt \quad (4)$$

Tbl 3. Hasil Regresi Kecepatan terhadap Ketinggian

| Variabel | Konstanta |
|-----------------|-----------|
| Gradien | 0,0054 |
| Konstanta | 0,7154 |
| Standar Deviasi | 0,0663 |

E. Prediksi Gabungan

Digunakan pdf normal dengan persamaan seperti berikut.

$$p = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(h-\mu)^2}{2s^2}} \quad (5)$$

Dimana μ adalah rata-rata dari pembacaan, s adalah standar deviasi dari pdf, dan h adalah besar ketinggian. Dengan menggunakan persamaan probabilitas tersebut,

didapatkan bahwa estimasi ketinggian berdasarkan *encoder* dan kecepatan adalah seperti berikut.

$$p_e(h_i) = \frac{1}{s_e\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(h_i-h_e(x))^2}{2s_e^2}} \quad (6)$$

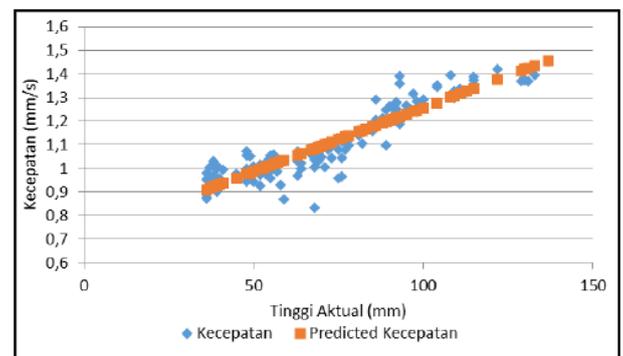
$$p_v(h_i) = \frac{1}{s_v\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(h_i-h_v(h_{i-1}))^2}{2s_v^2}} \quad (7)$$

Dimana h_i adalah ketinggian di langkah- i dan h_{i-1} adalah ketinggian di langkah- $i-1$. Setelah mendapatkan probabilitas dari kedua pendekatan, penggabungan dilakukan dengan mengalikan (6) dengan (7) dan mencari probabilitas terendah dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\max(p(h_i)) : \frac{d(p(h_i))}{dh} = 0 \quad (8)$$

dimana,

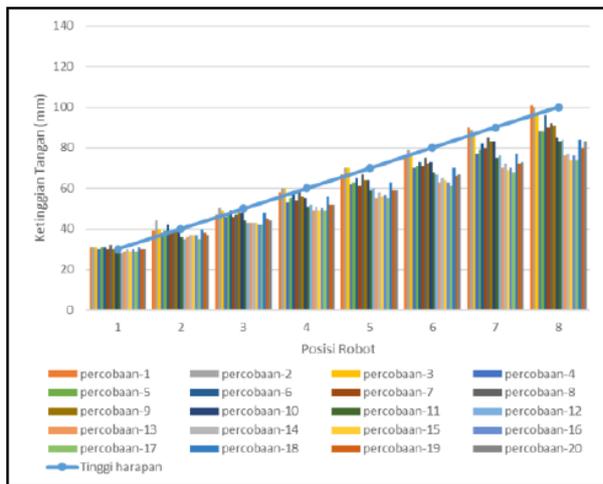
$$p(h_i) = p_v(h_i) \cdot p_e(h_i) \quad (9)$$



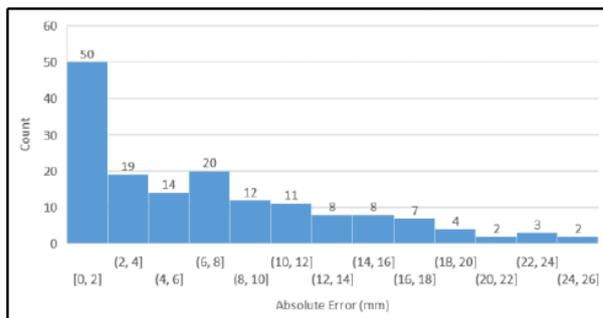
Gbr 6. Prediksi Kecepatan terhadap Ketinggian Asli

III. HASIL DAN ANALISIS

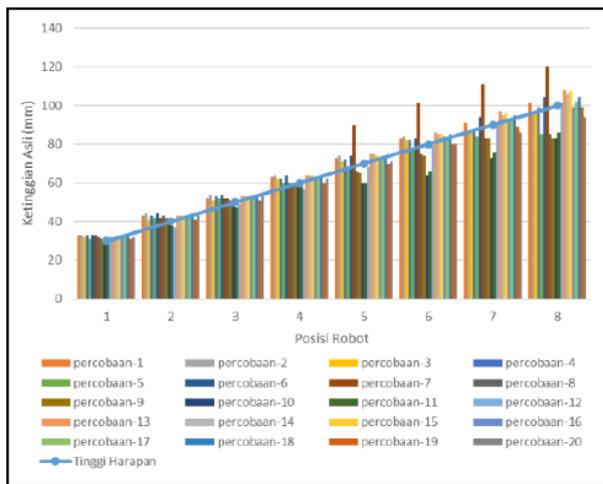
Pengujian dilakukan terhadap sistem pengangkatan AGV dengan menggunakan dua metode, yaitu: hanya *encoder* dan penggabungan estimasi. Metode *encoder* dilakukan dengan menggunakan (1) dan memutarkannya untuk mendapatkan persamaan *encoder* terhadap ketinggian, dan dengan demikian mampu untuk mencapai ketinggian tertentu. Pengujian dilakukan dengan menetapkan ketinggian tangan robot menjadi ketinggian 30-100 mm dengan interval 10 mm yang menghasilkan 8 pengujian posisi. Toleransi *error* pengujian metode dipilih sebesar ± 2 mm di mana *error* di dalam batas tersebut dikatakan sukses. Pengujian juga dilakukan dengan hanya mengangkat tangan robot, dan setiap pengujian dimulai dengan ketinggian tangan robot ditetapkan menjadi minimum.



Gbr 7. Metode Hasil Encoder

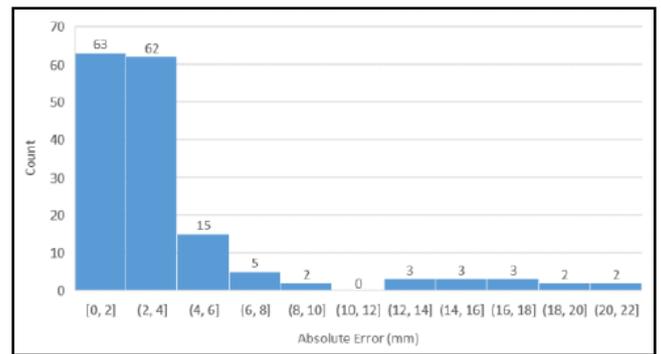


Gbr 8. Hasil Error Metode Encoder



Gbr 9. Hasil Gabungan Estimasi

Hasil pengujian metode *encoder* dilakukan dengan hasil ditampilkan pada Gambar 7, begitu pula dengan metode gabungan estimasi ditampilkan pada Gambar 9. Dengan mengolah data, didapatkan histogram dari *error* absolut kedua metode pada Gambar 8 dan Gambar 10 dengan yang pertama adalah histogram *error* absolut dari metode *encoder* dan yang kedua adalah metode gabungan estimasi.



Gbr 10. Hasil Error Gabungan Estimasi

Pada proses pengujian, dikarenakan bahan *gearbox* yang digunakan berbahan plastik dan juga faktor desain model peralatan sistem yang kurang menyesuaikan toleransi dari printer 3D, *gearbox* terkadang mengalami *slip* pada proses pengangkatan. *Slip* tersebut telah dipertimbangkan pada tahap regresi sehingga metode *encoder* maupun metode gabungan estimasi memiliki faktor *slip* dari perkiraannya.

Tbl 4. Kesuksesan Subsystem dalam Menetapkan Ketinggian

| Jenis Kalibrasi | Kalibrasi Sensor | Penggabungan Kalibrasi |
|-------------------|------------------|------------------------|
| Persentase Sukses | 31,25% | 39,38% |

Setelah mendapatkan 160 data di setiap metode, dan dengan mempertimbangkan toleransi *error* ketinggian sebesar ± 2 mm; metode gabungan estimasi memiliki persentase sukses lebih tinggi dengan metode *encoder* mencapai 31,25% dan metode gabungan estimasi mencapai 39,38%. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa metode gabungan estimasi memperbolehkan tingkat estimasi yang lebih akurat karena mempertimbangkan bahwa motor selalu bergerak walaupun *encoder* tidak membaca, dan juga bahwa terkadang *encoder* gagal dibaca. Hal tersebut dapat terjadi karena pembacaan *encoder* dilakukan tanpa menggunakan *interrupt*.

IV. KESIMPULAN

Ketinggian dari tangan robot memerlukan sistem pengangkatan yang memadai di sisi penetapan ketinggian. Penetapan ketinggian tersebut dapat memiliki berbagai cara namun semuanya membutuhkan sensor. Penggunaan sensor yang akurat dan presisi selalu dapat dilakukan, namun dengan biaya yang lebih tinggi. Penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan gabungan estimasi ketinggian menggunakan dua metode mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan hanya dengan satu metode. Keuntungan dari penggunaan metode ini bukan hanya berdampak pada kepercayaan terhadap kemampuan sensor yang murah, namun juga dapat meningkatkan kemampuan sensor yang mahal menjadi lebih akurat dan presisi. Namun dari hasil pengujian, keberhasilan pengujian hanya didapatkan 31,25% dan 39,38% yang kemungkinan dihasilkan oleh sistem *gearbox* mengalami *slip* sehingga akurasi yang didapatkan sangat rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada Universitas Multimedia Nusantara yang telah memfasilitasi dan mendukung pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] J. Bačík, F. Ďurovský, M. Biroš, K. Kyslan, D. Perduková and S. Padmanaban, "Pathfinder—Development of Automated Guided Vehicle for Hospital Logistics," *IEEE Access*, vol. 5, p. 26892–26900, 2017.
- [2] A. Vale, R. Ventura, P. Lopes and I. Ribeiro, "Assessment of navigation technologies for automated guided vehicle in nuclear fusion facilities," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 97, pp. 153-170, 2017.
- [3] K. Azadeh, R. D. Koster and D. Roy, "Robotized and Automated Warehouse Systems: Review and Recent Developments," *Transportation Science*, vol. 53, no. 4, pp. 917-945. <https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0873>, 2019.
- [4] P. Baker and Z. Halim, "An exploration of warehouse automation implementations: cost, service and flexibility issues," *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 12(2), pp. 129-138, 2007.
- [5] A. J. Moshayedi, A. S. Roy and L. Liao, "PID Tuning Method on AGV (automated guided vehicle) Industrial Robot," *Journal of Simulation and Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering*, vol. 12, no. 4, pp. 53-66, 2019.
- [6] J. J. Hair and Y. , "Automated Guided Vehicle (AGV) Pengikut Garis Menggunakan Roda Mecanum Dengan Kendali Pid Adaptif Terinterpolasi," *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018*, pp. 375-382, doi: <http://dx.doi.org/10.5614/2Fsniko.2018.42>, 2020.
- [7] S. R. K. A.S, A. Rusdinar, S. Yuwono dan R. Nugraha, "Speed Control System Design Using Fuzzy-PID for Load Variation of Automated Guided Vehicle (AGV)," *2017 2nd International Conference on Frontiers of Sensors Technologies*, pp. 426-430, doi: 10.1109/ICFST.2017.8210549., 2017.
- [8] R. K. A. Sakir, A. Rusdinar, S. Yuwono, A. S. Wibowo, S. and N. T. Jayanti, "Movement Control Algorithm of Weighted Automated Guided Vehicle Using Fuzzy Inference System," *2017 2nd International Conference on Control and Robotics Engineering*, pp. 135-139, 2017.
- [9] S. F. Dwiprasetyabudhi, A. Rusdinar and R. Nugraha, "Perancangan Dan Realisasi Sistem Automatic Guided Vehicle (Agv) Menggunakan Algoritma Dijkstra Dan Fuzzy Logic," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 2246-2253, 2015.
- [10] R. Kamoshida and Y. Kazama, "Acquisition of Automated Guided Vehicle Route Planning Policy Using Deep Reinforcement Learning," *2017 6th IEEE International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT)*, pp. 1-6, 2017.
- [11] F. Z. Abadi, "Valuasi Rancangan Frame Automatic Guided Vehicle (Agv) Dengan Roda Mecanum Menggunakan Metode Elemen Hingga", Universitas Gadjah Mada, 2015.
- [12] D. Montreano and S. Pradana, "Pengendalian Tangan Robot Perakit Pada Disain Computer Integrated Manufacturing Berbiaya Rendah (CIM) Menggunakan Visual Basic Dan Arduino," *Bina Teknika*, vol. 14, no. 2, pp. 199-208, 2018.
- [13] S. Lu, C. Xu, R. Y. Zhong and L. Wang, "A RFID-enabled positioning system in automated guided vehicle for smart factories," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 44, pp. 179-190, 2017.
- [14] I. Waldy, A. Rusdinar and E. Estananto, "Design and Implementation System Automatic Guided Vehicle (AGV) Using RFID for Position Information," *Journal of Measurements, Electronics, Communications, and Systems*, vol. 1, no. 1, pp. D1-6, 2015.
- [15] S. Lu, C. Xu, R. Y. Zhong and L. Wang, "A passive RFID tag-based locating and navigating approach for automated guided vehicle," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 125, pp. 628-636, 2018.
- [16] Z. Zhang, L. Wu, W. Zhang, T. Peng and J. Zheng, "Energy-efficient path planning for a single-load automated guided vehicle in a manufacturing workshop," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 158, p. 10737, 2021.
- [17] J. Luo, Y. Wan, W. Wu and Z. Li, "Optimal Petri-Net Controller for Avoiding Collisions in a Class of Automated Guided Vehicle Systems," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, no. 11, pp. 4526-4537, 2020.
- [18] J. Liu, Z. Liu, H. Zhang, H. Yuan, K. B. Manokaran and M. Maheshwari, "Multi-sensor information fusion for IoT in automated guided vehicle in smart city," *Soft Comput*, vol. 25, pp. 12017-12029, 2021.
- [19] F. Aditama, "Perancangan Dan Analisis Statik Sistem Mekanisme Pengangkat Pada Forklift Automatic Guided Vehicle (AGV)," *Skripsi Thesis*, 2021.

BIOGRAFI PENULIS



David Kristi adalah mahasiswa Universitas Multimedia Nusantara jurusan Teknik Elektro dan lulus pada tahun 2021. Minat penelitiannya dengan Robotika dan Sistem Cerdas.



M.B. Nugraha, dia meraih gelar Master of Science dalam bidang Teknik Elektro dari Institut Teknologi Bandung, Indonesia pada tahun 2018, dengan fokus pada bidang Kontrol dan Sistem Cerdas. Saat ini, dia adalah seorang dosen dan peneliti di Universitas Multimedia Nusantara dengan fokus pada Robotika, Sistem Kontrol Embedded, dan Sistem Cerdas. Minat penelitiannya meliputi Sistem Cerdas, Sistem Embedded, dan Robotika.