

ID: 41

Perbandingan Akurasi Jarak antara Metode Integral Euler dengan Metode Putaran Roda untuk Kendaraan Otonom

Comparation Accuracy Distance Between Euler's Integral Method with Wheel Spin Method for Autonomous Vehicle

Saip Ardo Pratama^{1*}, Hendri Maja Saputra², Eki Ahmad Zaki Hamidi³, Muhammad Haniff⁴

^{1,3,4}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati

Jl. A.H. Nasution Nomor. 105A, Cibiru, Bandung, Indonesia

²Pusat Riset Tenaga Listrik dan Mekatronik

Badan Riset dan Inovasi Nasional

Jl. Cisitno No. 21/154D Sangkuriang – Bandung 40135, Indonesia

1187070075@student.uinsgd.ac.id^{1*}, hendri.maja@gmail.com², ekiahmadzaki@uinsgd.ac.id³,

1187070052@student.uinsgd.ac.id⁴

Abstrak – Penggunaan kendaraan otonom dengan sistem kendali jarak jauh sangat banyak sekali penggunaannya di era revolusi industri, salah satunya adalah teknologi pembacaan jarak perpindahan kendaraan dan kecepatan gerak kendaraan. Pembacaan jarak perpindahan pada kendaraan otonom dapat dilakukan dengan metode integral euler dan metode putaran roda, metode reinman dan lain sebagainya. Penelitian ini bertujuan menentukan pembacaan jarak dan perbandingannya pada kendaraan otonom menggunakan metode integral euler dan metode putaran roda. Penelitian ini berfokus pada perbandingan jarak perpindahan kendaraan otonom antara metode integral euler dengan metode putaran roda. Metode integral euler digunakan pada perhitungan jarak perpindahan menggunakan sensor inersia dengan menurunkan data percepatan. Metode putaran roda digunakan pada perhitungan jarak perpindahan menggunakan infrared sensor dengan menghitung jumlah pulse data yang terdeteksi dikalikan dengan variabel penambahan jarak setiap celah roda. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode integral euler pada pembacaan jarak perpindahan lebih baik dibandingkan metode putaran roda pada percoroda kendaraan bergerak maju, mundur, ke kiri dan ke kanan dengan perbandingan error 4.13625 % berbanding 6.845 %.

Kata Kunci: Integral Euler, Kendaraan Otonom, Sensor inersia, Sensor Inframerah.

Abstract – Implementation of autonomous vehicle with remote control system is very much implementation in industrial revolution. One of that is kendaraan displacement distance reading. Displacement distance reading in autonomous vehicle can using integral euler method, wheel spin method, reinman method and the others. Purpose in this research is to read displacement and comparison in Autonomous vehicle using euler integral method and wheel spin. This research focused in comparison of displacement distance autonomous vehicle between euler integral method with wheel spin method. Euler's integral method used in calculation displacement distance with inertial sensor by diferential acceleration data. Wheel speed method used in calculation displacement distance with infrared sensor by calculate of pulse multiplied with addition each gap variabel. Research result show that use of euler integral method in displacement distance read more accurate than wheel speed method in test vehicle moves forward, backward, to the right, and to the left with comparison error 4.13625 % to 6.845 %.

Keywords: Euler Integral, Autonomous vehicle, Inertial Sensor, Infrared Sensor

1. Pendahuluan

Penggunaan kendaraan dengan sistem kendali jarak jauh dan otomatis (*autonomous vehicle*) sangat banyak sekali penggunaannya di era revolusi industri [1]. Kendaraan otonom merupakan Kendaraan yang dirancang untuk dapat bernavigasi secara mandiri dan dapat mengambil

SENTER VI 2021, 18 November 2021, pp. 295-306

ISBN: 978-602-60581-7-1

■ 295

keputusan dari keadaan sekitarnya [2]. Kendaraan otonom dapat digunakan pada lokasi yang sempit dan ramai karena dapat bergerak ke segala arah sehingga sangat efisien dalam pemakaiannya [3]. Salah satu bagian penting dari kendaraan otonom adalah teknologi pembacaan jarak perpindahan kendaraan dan kecepatan gerak kendaraan. Ada banyak sekali pemanfaatan teknologi pembacaan jarak perpindahan kendaraan dan pembacaan kecepatan gerak kendaraan, seperti misalnya sistem *Proportional-Integral-Derivative* (PID) yang memerlukan umpan balik kecepatan kendaraan, tracking pergerakan kendaraan juga pemetaan gerak kendaraan [4]. Sistem *Global Positioning System* (GPS) pada *handphone*, yang memanfaatkan perkiraan pergerakan *handphone* berdasarkan sensor GPS [5]. Pemanfaatan pembacaan jarak perpindahan dan kecepatan gerak kendaraan banyak dimanfaatkan pada dunia industri seperti, pemantauan dan *tracking* kendaraan pengangkut barang dan pemantauan rute taksi online[6].

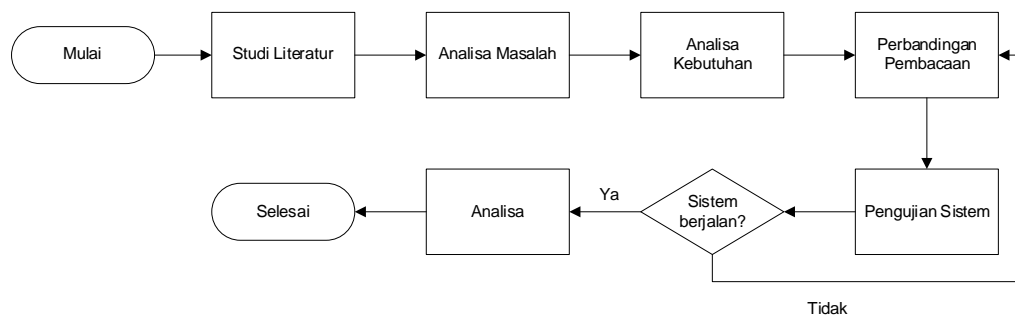
Banyak sensor yang dapat digunakan untuk menghitung perpindahan dan kecepatan kendaraan, baik itu menggunakan sensor *rotary encoder* pada roda motor, sensor inframerah, sensor percepatan, sensor GPS, dan sensor - sensor lainnya [7 - 9] . Setiap sensor memiliki kekurangan dan kelebihan masing – masing, sehingga sering kali untuk menghasilkan pembacaan kecepatan dan perpindahan kendaraan secara teliti digunakan gabungan dari sensor-sensor [10]. Sistem pada kendaraan otonom tentunya akan semakin baik jika sensor yang digunakan lebih akurat dan teliti, maka perlu dilakukan validasi sensor mana yang lebih baik penggunaannya pada pembacaan jarak perpindahan kendaraan.

Beberapa metode dapat digunakan pada pembacaan jarak perpindahan , yang paling umum digunakan adalah metode integral dengan menurunkan pembacaan percepatan menjadi jarak perpindahan kendaraan diantaranya metode integral euler [11], integral reinman dan lain sebagainya [12]. Metode integral ini umumnya digunakan untuk sensor inersia, GPS dan lain sebagainya. Metode lain yang juga dapat digunakan adalah metode putaran roda [13], dengan membaca banyaknya putaran roda yang dilakukan untuk menghitung jarak yang ditempuh oleh kendaraan [14]. Metode putaran roda ini biasanya digunakan untuk *rotary encoder*, *optical encoder* (sensor inframerah) dan lain sebagainya. Metode yang lebih baik dan efisien penggunaannya akan lebih baik pula sistem yang dihasilkan, maka perlu dilakukan validasi metode yang lebih baik dan efisien.

Penelitian ini berfokus pada perhitungan jarak perpindahan kendaraan otonom menggunakan metode integral euler dan metode putaran roda, lalu membandingkannya untuk menentukan ketepatan dan keakuratan pembacaan jarak perpindahan. Perhitungan jarak perpindahan kendaraan dengan metode integral euler dilakukan dengan menurunkan data percepatan. Perhitungan jarak perpindahan kendaraan dengan metode putaran roda dilakukan dengan menghitung jumlah pulse data yang terdeteksi dan dikalikan dengan variabel penambahan jarak setiap celah roda

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode eksperimen, yang di susun dalam diagram alir penelitian seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

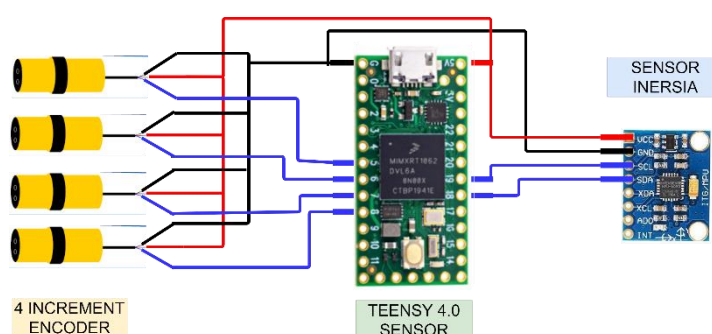
Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, penelitian ini dimulai dengan mencari dan memperdalam studi literatur dari penelitian yang hampir serupa sebagai referensi. Berdasarkan beberapa referensi ditemukan beberapa metode yang dapat digunakan untuk membaca jarak perpindahan kendaraan, selanjutnya ditentukan masalah yang dapat dikembangkan serta kebutuhan proses penelitian. Berdasarkan analisa terhadap studi literatur terkait, diimplementasikan rangkaian mekanik dan elektrik yang dibutuhkan untuk perbandingan akurasi jarak perpindahan antara metode integral euler pada sensor inersia dengan metode putaran roda pada sensor inframerah untuk kendaraan otonom. Pada implementasi rangkaian mekanik dan elektrik akan dilakukan pengujian system. Setelah pengujian dilakukan, maka dilakukan analisa terhadap hasil pengujian sistem yang akan dibahas pada bagian selanjutnya.

3. Perancangan Eksperimen

Perancangan perbandingan akurasi jarak perpindahan antara metode integral euler dengan metode putaran roda untuk kendaraan otonom terdiri dari beberapa bagian yaitu perancangan perangkat keras, pemodelan dan kalibrasi sensor, dan perhitungan jarak perpindahan.

3.1. Perancangan Perangkat Keras

Pada kendaraan otonom roda empat yang di uji, menggunakan metode integral euler pada sensor inersia dan metode putaran roda digunakan pada keempat sensor infrarad di roda kendaraan otonom. Kendaraan otonom yang diuji menggunakan roda berjenis *omni-directional wheel*, yaitu jenis roda yang dapat bergerak ke segala arah[15]. Roda *omni-directional wheel* yang digunakan memiliki diameter roda 15.2 cm dengan 15 celah pada ujung bannya. Kontrol kendaraan menggunakan mikrokontroler *Teensy 4.0* [16] untuk mengontrol gerak dan membaca jarak perpindahan kendaraan otonom. Pada kendaraan otonom yang di uji menggunakan sensor inersia dengan jenis MPU-6050 [17] dan sensor inframerah menggunakan sensor E18-D80NK [18].



Gambar 2. Rangkaian elektrik eksperimen

Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2, terdapat mikrokontroler *Teensy 4.0* untuk memproses data yang dibaca dari 4 sensor inframerah dihubungkan pada pin digital 5, 6, 7 dan 8 pada mikrokontroler untuk mengirimkan hasil pembacaan sensor ke mikrokontroler. Sensor inersia dihubungkan dengan komunikasi I2C pada pin 18 dan 19 (SDA, SCL) pada mikrokontroler.

Sensor inframerah dapat langsung diakses oleh mikrokontroler secara langsung ketika diberikan tegangan. Sensor inersia tidak dapat langsung diakses oleh mikrokontroler, namun memerlukan pengaturan register sensor khusus. Sensor inersia akan aktif dengan mengatur output dan fungsi-fungsi yang ingin diaktifkan dalam penggunaan sensor inersia. Pengaturan fungsi-fungsi dan konfigurasi sensor inersia dapat dilakukan dengan mengakses register sensor. Pengujian perpindahan kendaraan dengan sensor inersia menggunakan beberapa register [19].

Tabel 1. Register sensor inersia.

Addr (Hex)	Nama Register	Kegunaan
0x68	<i>SIGNAL_PATH_RESET</i>	Mereset hasil pembacaan sinyal
0x6B	<i>PWR_MGMT_1</i>	Mengatur <i>power mode</i> dan <i>clock source</i> sensor
0x1A	<i>CONFIG</i>	Konfigurasi sensor
0x1B	<i>GYRO_CONFIG</i>	Konfigurasi sensor <i>Gyroscope</i> serta pemilihan <i>Full scale range</i>
0x1C	<i>ACCEL_CONFIG</i>	Konfigurasi sensor <i>Accelerometer</i> serta pemilihan <i>Full scale range</i>
0x3B – 0x40	<i>ACCEL_OUT</i>	Menampilkan output <i>accelerometer</i>
0x43 – 0x48	<i>GYRO_OUT</i>	Menampilkan output <i>Gyroscope</i>

Sebagaimana yang tertera pada Tabel 1, sensor inersia menggunakan register *SIGNAL_PATH_RESET*, untuk mereset hasil pembacaan sinyal, *PWR_MGMT_1* untuk mengatur *power mode* dan *clock source* sensor, *CONFIG* untuk mengkonfigurasi sensor, *GYRO_CONFIG* untuk memilih konfigurasi dan scale range pada sensor *gyroscope*, *ACCEL_CONFIG* untuk memilih konfigurasi dan scale range pada sensor percepatan, *ACCEL_OUT* untuk menampilkan pembacaan percepatan, *GYRO_OUT* untuk menampilkan pembacaan gyrometer. Sensor inersia yang sudah diatur registernya akan memberikan hasil yang sesuai dengan pengaturan registernya saja.

3.2. Pemodelan dan Kalibrasi Sensor

Sensor inersia secara teknis nilai pembacaanya berbentuk $\Delta x, \Delta y, \text{ dan } \Delta z$ yang merupakan selisih pembacaan $x_g, y_g, \text{ dan } z_g$ terhadap kondisi tanpa getaran $x_{tg}, y_{tg}, \text{ dan } z_{tg}$ yang dirumuskan dalam persamaan 1:

$$\Delta x = x_g - x_{tg}, \Delta y = y_g - y_{tg}, \Delta z = z_g - z_{tg} \quad (1),$$

sebagaimana pada Persamaan 1, dimana $\Delta x, \Delta y, \text{ dan } \Delta z$ adalah hasil pembacaan percepatan pada sumbu x, y, dan z. Variable $x_g, y_g, \text{ dan } z_g$ adalah hasil pembacaan sebenarnya sumbu x, y, dan z. Variabel $x_{tg}, y_{tg}, \text{ dan } z_{tg}$ adalah pembacaan tanpa getaran pada sumbu x, y, dan z. Persamaan ini digunakan dalam melakukan kalibrasi sensor inersia, yakni mengurangi hasil pembacaan sensor dengan nilai simpangan sensor. Adapun kalibrasi sensor inersia dilakukan dengan cara menentukan simpangan hasil pembacaan sensor inersia, lalu nilai simpangan akan dikurangkan dengan hasil pembacaan baru oleh mikrokontroler

Tabel 2. Pengujian offset sensor inersia.

No	Accelerasi SB-X	Accelerasi SB-Y	Accelerasi SB-Z
1	-0.069404252	0.003887992	0.997580998
2	-0.069404169	0.003888153	0.997581003
3	-0.069404112	0.003888265	0.997581007
4	-0.069404072	0.003888342	0.997581009
5	-0.069404045	0.003888395	0.997581011
6	-0.069404026	0.003888432	0.997581012
---	---	---	---
9999	-0.070089749	0.003304491	0.997535173
10000	-0.070089606	0.003304303	0.997535184
RATA-RATA	-0.073319117	0.004257668	0.997292416
OFSET	0.017753481	0.018490522	0.001297424

Sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 2, diketahui bahwa pada kondisi diam sensor inersia memiliki nilai simpangan sebesar ± 0.017 g pada sumbu x, ± 0.017 g pada sumbu y, dan

± 0.017 g pada sumbu z. sehingga untuk mengkalibrasi sensor inersia pada sensor percepatan hasil pembacaan akan dikurangkan dengan nilai offsetnya, sesuai persamaan (1).

Sensor inframerah secara teknis pembacaannya berbentuk sinyal digital yang bernilai *high* dan *low* saja. Sensor inframerah pada kendaraan otonom roda 4 yang diuji akan membaca jumlah celah pada roda kendaraan otonom. Jenis roda yang digunakan untuk uji coba adalah *omni-directional wheel* dengan diameter 15cm dan 15 celah pada ujung rodanya. Pembacaan sensor inframerah pada satu putaran roda akan menghasilkan 15 kali nilai *high*. Kalibrasi sensor inframerah, dilakukan secara manual pada bagian sensor dengan mengatur sensitifitas sensor.

3.3. Algoritma Jarak Perpindahan

Prinsip kerja pada pembacaan dan kalibrasi perpindahan pada kendaraan otonom dengan sensor inframerah menggunakan metode perputaran roda. Pembacaan dilakukan dengan membaca banyaknya perputaran roda pada kendaraan, lalu mengkonversi jumlah putaran menjadi jarak. Sensor inframerah yang telah dikalibrasi akan membaca jumlah celah pada roda kendaraan [13]. Dikarenakan jenis roda yang digunakan memiliki diameter 15 cm dan 15 celah pada ujung rodanya, dapat diasumsikan roda sebagai lingkaran dengan diameter 15cm. Jarak perpindahan roda dapat diasumsikan sebagai radius perputaran roda, dimana 15 kali pembacaan *high* pada sensor inframerah merupakan 1 keliling penuh dari roda [14].

$$x = \frac{\pi \cdot r}{16} \cdot n \quad (2),$$

sebagaimana yang tertera pada Persamaan 2, dimana x adalah jarak perpindahan, π merupakan nilai ketetapan perhitungan lingkaran, r adalah jari jari roda, dan n adalah jumlah pembacaan celah (*pulse data*) pada sensor inframerah. Persamaan ini yang menjadi persamaan utama penentuan jarak perpindahan kendaraan otonom dengan sensor inframerah.

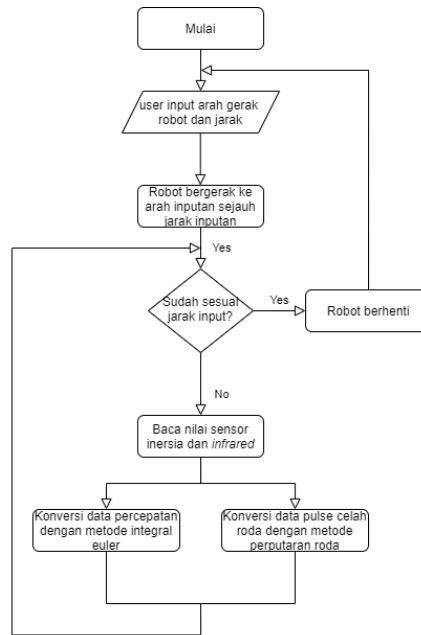
Prinsip kerja pada pembacaan jarak perpindahan pada kendaraan otonom dengan sensor inersia menggunakan metode integral euler. Metode ini lebih banyak digunakan pada kendaraan otonom dibandingkan dengan metode integral lainnya seperti reinman [12]. Pembacaan percepatan gerak kendaraan akan diturunkan, sehingga didapatkan jarak perpindahan kendaraan. Pada penurunan nilai percepatan menjadi perpindahan. Nilai percepatan akan diturunkan menjadi kecepatan, lalu diturunkan kembali menjadi perpindahan. Penurunan hasil pembacaan ini menggunakan metode integral euler [11]

$$x_t = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + x_0 \quad (3),$$

$$v_t = v_0 + a \cdot t \quad (4),$$

sebagaimana yang tertera pada Persamaan 3 dan 4, dimana x_t adalah jarak perpindahan, a adalah percepatan hasil pembacaan sensor inersia, v_t adalah turunan pertama dari hasil pembacaan sensor inersia, v_0 adalah nilai kecepatan sebelumnya, x_0 adalah jarak sebelumnya, dan t adalah waktu sampling sensor. Persamaan ini yang menjadi persamaan utama penentuan jarak perpindahan kendaraan otonom dengan sensor inersia menggunakan metode euler.

Persamaan 2 akan di aplikasikan pada mikrokontroler sehingga data sensor inframerah yang awalnya bernilai pulse data saja akan dirubah menjadi jarak perpindahan kendaraan menggunakan metode perputaran roda. Persamaan 3 dan 4 juga akan di aplikasikan pada mikrokontroler untuk mengubah data analog pada pembacaan sensor inersia menjadi data jara perpindahan menggunakan metode integral euler. Alur flow chart pada eksperimen ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Algoritma eksperimen jarak perpindahan

Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3, alur kerja eksperimen dimulai dengan *user*/penulis menentukan arah gerak dan jarak gerak kendaraan yang mana kedua variabel ini yang menjadi variasi pada penelitian. Kendaraan akan bergerak berdasarkan jarak dan arah yang telah ditentukan berdasarkan inputan yang diberikan *user*. Mikrokontroler akan membaca nilai outputan sensor inersia dan sensor inframerah. *Pulse data* celah roda dikonversikan menjadi nilai jarak dengan Persamaan 2 berdasarkan metode perputaran roda. Data percepatan dikonversikan menjadi jarak dengan Persamaan 3 berdasarkan metode integral euler. Saat mendekati jarak yang telah ditentukan, *user* mengontrol secara manual agar kendaraan berhenti bergerak.

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian dilakukan dengan menguji pembacaan jarak perpindahan kendaraan menggunakan metode integral euler dan metode perputaran roda. Hasil pembacaan jarak menggunakan kedua metode tersebut akan dibandingkan untuk mengetahui akurasi hasil pembacaan jarak perpindahan yang lebih efektif dan akurat.

4.1. Pengujian Pembacaan Sensor Inersia dan Sensor inframerah

Pengujian perbandingan akurasi jarak perpindahan antara metode integral euler dengan metode putaran roda untuk kendaraan otonom dilakukan dengan 4 variasi data yaitu pengujian gerak maju, mundur, ke kanan dan ke kiri. Masing masing variasi di uji sebanyak 10 kali pengujian pada metode integral euler menggunakan sensor inersia dan metode perputaran roda menggunakan sensor inframerah.

4.2. Pengujian Pembacaan Jarak dengan Metode Integral Euler

Pengujian pembacaan jarak perpindahan pada metode integral euler dilakukan dengan membaca hasil pembacaan percepatan yang diproses menjadi perpindahan. Pengujian perpindahan kendaraan dilakukan 10 kali percobaan pada jarak tertentu dan arah tertentu (maju,

mundur, kiri, kanan). Pengujian dilakukan dengan 2 variasi data, yaitu data pada jarak sebenarnya 60 cm dan data pada jarak sebenarnya 120 cm.

Tabel 3. Pengujian hasil pembacaan jarak perpindahan pada metode integral eurl kendaraan bergerak maju

Jarak (cm)	Ke-1 (cm)	Ke-2 (cm)	Ke-3 (cm)	Ke-4 (cm)	Ke-5 (cm)	Ke-6 (cm)	Ke-7 (cm)	Ke-8 (cm)	Ke-9 (cm)	Ke-10 (cm)
60	61.55	61.45	61.15	61.08	61.56	61.58	61.87	63.52	64	63.12
120	123.44	124.67	126.75	125.30	126.70	123.45	122.47	126.35	124.07	123.22

Sebagaimana yang tertera pada Tabel 3 diketahui bahwa pada pengujian dengan sebenarnya 60 cm, didapatkan hasil pembacaan yaitu rata-rata 62.448 cm. Pada jarak 120 cm didapatkan rata-rata hasil pembacaan sebesar 124.648 cm. Pembacaan perpindahan kendaraan pada kondisi maju dengan metode integral eurl didapatkan eror sebesar $\pm 4.01\%$.

Tabel 4. Pengujian hasil pembacaan jarak perpindahan pada metode integral eurl kendaraan bergerak mundur

Jarak (cm)	Ke-1 (cm)	Ke-2 (cm)	Ke-3 (cm)	Ke-4 (cm)	Ke-5 (cm)	Ke-6 (cm)	Ke-7 (cm)	Ke-8 (cm)	Ke-9 (cm)	Ke-10 (cm)
60	57.62	57.27	57.74	56.9	57.89	57.58	57.78	57.26	58.47	58.35
120	115.76	115.48	114.98	114.86	116.45	115.87	116.14	117.06	117.96	116.2

Sebagaimana yang tertera pada Tabel 4 diketahui bahwa pada pengujian dengan sebenarnya 60 cm, didapatkan hasil pembacaan yaitu rata-rata 57.686 cm. Pada jarak 120 cm didapatkan rata-rata hasil pembacaan sebesar 116.076 cm. Pembacaan perpindahan kendaraan pada kondisi mundur dengan metode integral eurl didapatkan eror sebesar $\pm 3.563\%$.

Tabel 5. Pengujian hasil pembacaan jarak perpindahan pada metode integral eurl kendaraan bergerak ke kiri

Jarak (cm)	Ke-1 (cm)	Ke-2 (cm)	Ke-3 (cm)	Ke-4 (cm)	Ke-5 (cm)	Ke-6 (cm)	Ke-7 (cm)	Ke-8 (cm)	Ke-9 (cm)	Ke-10 (cm)
60	62.45	63.05	62.95	62.55	63.15	63.17	63.76	62.13	62.36	62.35
120	127.86	127.31	126.42	127.45	127.89	126.45	127.55	128.16	127.86	127.79

Sebagaimana yang tertera pada Tabel 5 diketahui bahwa pada pengujian dengan sebenarnya 60 cm, didapatkan hasil pembacaan yaitu rata-rata 62.792 cm. Pada jarak 120 cm didapatkan rata-rata hasil pembacaan sebesar 127.474 cm. Pembacaan perpindahan kendaraan pada kondisi maju dengan metode integral eurl didapatkan eror sebesar $\pm 5.44\%$.

Tabel 6. Pengujian hasil pembacaan jarak perpindahan pada metode integral eurl kendaraan bergerak ke kanan

Jarak (cm)	Ke-1 (cm)	Ke-2 (cm)	Ke-3 (cm)	Ke-4 (cm)	Ke-5 (cm)	Ke-6 (cm)	Ke-7 (cm)	Ke-8 (cm)	Ke-9 (cm)	Ke-10 (cm)
60	57.49	57.33	56.82	57.1	58.24	57.89	56.95	57.23	58.64	58.79
120	116.68	116.18	117.01	117.56	116.89	115.94	115.07	115.67	115.1	116.18

Sebagaimana yang tertera pada Tabel 6 diketahui bahwa pada pengujian dengan sebenarnya 60 cm, didapatkan hasil pembacaan yaitu rata-rata 57.648 cm. Pada jarak 120 cm didapatkan rata-

rata hasil pembacaan sebesar 116.228 cm. Pembacaan perpindahan kendaraan pada kondisi maju dengan metode integral eurel didapatkan eror sebesar $\pm 3.53\%$ yang mana ini merupakan eror terkecil pada pembacaan jarak perpindahan.

4.2.1. Pengujian Jarak dengan Metode Perputaran Roda

Pengujian pembacaan jarak perpindahan pada metode perputaran roda dilakukan dengan membaca jumlah perputaran roda kendaraan. Pengujian dilakukan 10 kali percobaan pada jarak tertentu dan arah tertentu (maju, mundur, kiri, kanan). Pengujian dilakukan dengan 2 variasi data, yaitu data pada jarak sebenarnya 60 cm dan data pada jarak sebenarnya 120 cm.

Tabel 7. Pengujian hasil pembacaan jarak perpindahan pada metode perputaran roda kendaraan bergerak maju

Jarak (cm)	Ke-1 (cm)	Ke-2 (cm)	Ke-3 (cm)	Ke-4 (cm)	Ke-5 (cm)	Ke-6 (cm)	Ke-7 (cm)	Ke-8 (cm)	Ke-9 (cm)	Ke-10 (cm)
60	56.73	57.7	57.7	57.29	57.35	57.49	57.33	56.09	57.08	59.85
120	108.2	109.17	108.91	108.45	109	111	108.76	109.17	109.97	108.97

Sebagaimana yang tertera pada Tabel 7. diketahui bahwa pada pengujian dengan sebenarnya 60 cm, didapatkan hasil pembacaan yaitu rata-rata 57.461 cm. Pada jarak 120 cm, didapatkan rata-rata hasil pembacaan sebesar 109.16 cm. maka pada pembacaan perpindahan kendaraan pada kondisi maju dengan metode perputaran roda didapatkan eror sebesar $\pm 6.63\%$.

Tabel 8. Pengujian hasil pembacaan jarak perpindahan pada metode perputaran roda kendaraan bergerak mundur

Jarak (cm)	Ke-1 (cm)	Ke-2 (cm)	Ke-3 (cm)	Ke-4 (cm)	Ke-5 (cm)	Ke-6 (cm)	Ke-7 (cm)	Ke-8 (cm)	Ke-9 (cm)	Ke-10 (cm)
60	57.26	57.29	57.69	57.88	56.34	57.12	57.58	55.47	56.47	57.71
120	107.56	107.35	106.35	106.67	106.97	107.89	107.14	107.33	107.14	106.53

Sebagaimana yang tertera pada Tabel 8. diketahui bahwa pada pengujian dengan sebenarnya 60 cm, didapatkan hasil pembacaan yaitu rata-rata 57.081 cm. Pada jarak 120 cm didapatkan rata-rata hasil pembacaan sebesar 107.075 cm. Pembacaan perpindahan kendaraan pada kondisi maju dengan metode perputaran roda didapatkan eror sebesar $\pm 7.81\%$.

Tabel 9. Pengujian hasil pembacaan jarak perpindahan pada metode perputaran roda kendaraan bergerak ke kiri

Jarak (cm)	Ke-1 (cm)	Ke-2 (cm)	Ke-3 (cm)	Ke-4 (cm)	Ke-5 (cm)	Ke-6 (cm)	Ke-7 (cm)	Ke-8 (cm)	Ke-9 (cm)	Ke-10 (cm)
60	57.74	58.74	56.73	57.37	57.45	57.67	57.23	58.16	56.89	57.57
120	109.11	111.18	110.01	110.68	111.56	112.12	112.07	111.07	110.1	111.18

Sebagaimana yang tertera pada Tabel 9. diketahui bahwa pada pengujian dengan sebenarnya 60 cm, didapatkan hasil pembacaan yaitu rata-rata 57.55 cm. Pada jarak 120 cm didapatkan rata-rata hasil pembacaan sebesar 110.908 cm. Pembacaan perpindahan kendaraan pada kondisi maju dengan metode perputaran roda didapatkan eror sebesar $\pm 5.852\%$ yang mana ini merupakan eror terkecil pada pembacaan jarak perpindahan.

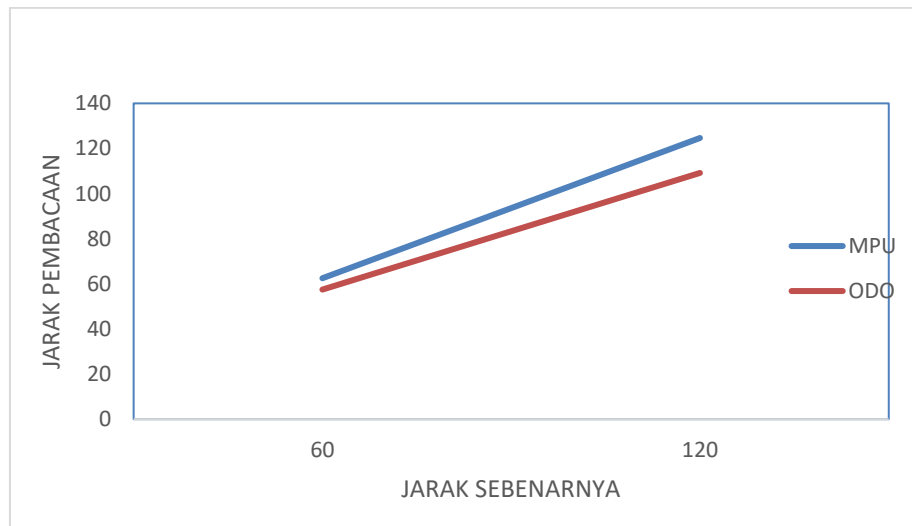
Tabel 10. Pengujian hasil pembacaan jarak perpindahan pada metode perputaran roda kendaraan bergerak ke kanan

Jarak (cm)	Ke-1 (cm)	Ke-2 (cm)	Ke-3 (cm)	Ke-4 (cm)	Ke-5 (cm)	Ke-6 (cm)	Ke-7 (cm)	Ke-8 (cm)	Ke-9 (cm)	Ke-10 (cm)
60	57.53	56.89	56.11	57.74	56.78	57.34	57.81	58.94	56.32	57.53
120	108.37	108.52	107.43	108.54	107.45	108.67	108.15	109.58	107.37	109.37

Sebagaimana yang tertera pada Tabel 10. diketahui bahwa pada pengujian dengan sebenarnya 60 cm, didapatkan hasil pembacaan yaitu rata-rata 57.299 cm. Pada jarak 120 cm didapatkan rata-rata hasil pembacaan sebesar 108.345 cm. Pembacaan perpindahan kendaraan pada kondisi maju dengan metode perputaran roda didapatkan eror sebesar $\pm 7.107\%$.

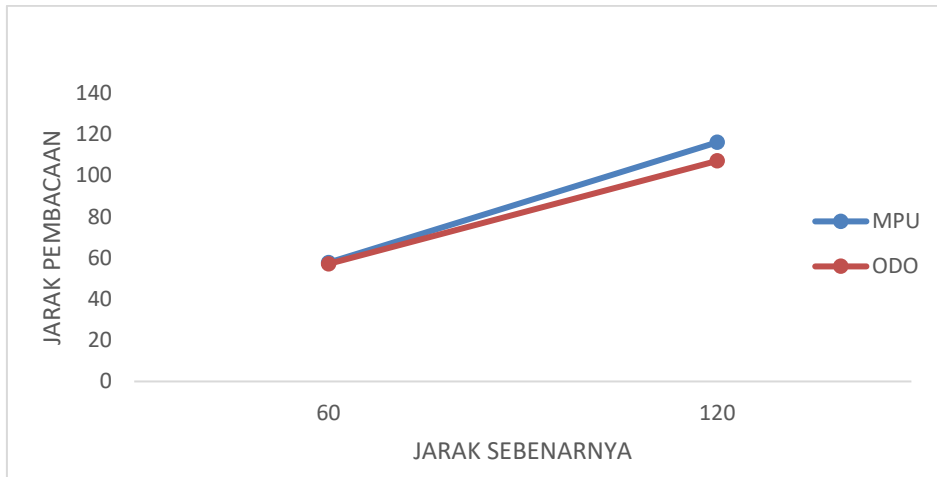
4.3. Perbandingan Hasil Pembacaan Jarak Perpindahan antara Metode Integral Euler dengan Metode Perputaran Roda

Perbandingan hasil pembacaan jarak perpindahan antara metode integral euler dengan metode perputaran roda di lakukan untuk menentukan hasil pembacaan yang lebih baik dan akurat.



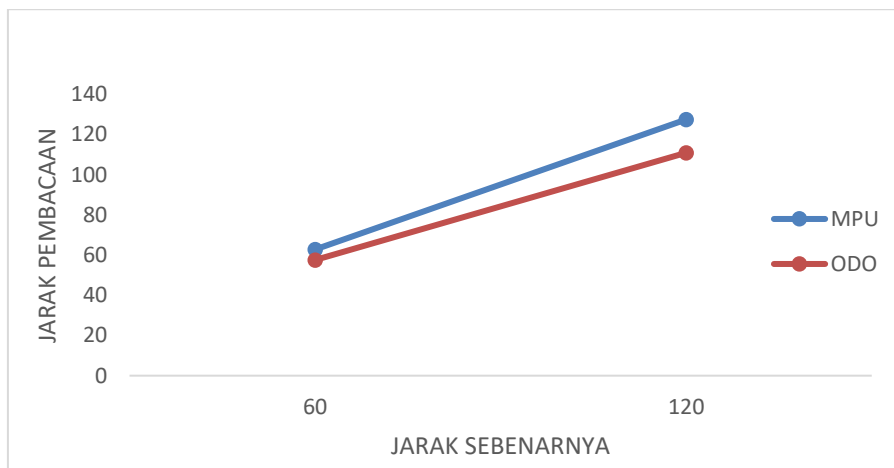
Gambar 4. Perbandingan pembacaan jarak perpindahan antara metode integral euler dengan metode perputaran roda pada kondisi maju

Sebagaimana hasil perbandingan pada Gambar 4. terlihat bahwa pembacaan menggunakan metode integral eurl melebihi jarak sebenarnya, sedangkan pada pembacaan menggunakan metode perputaran roda kurang dari jarak sebenarnya. Hasil pembacaan yang paling mendekati jarak sebenarnya adalah pembacaan menggunakan metode integral eurl dengan eror 4.01 %.



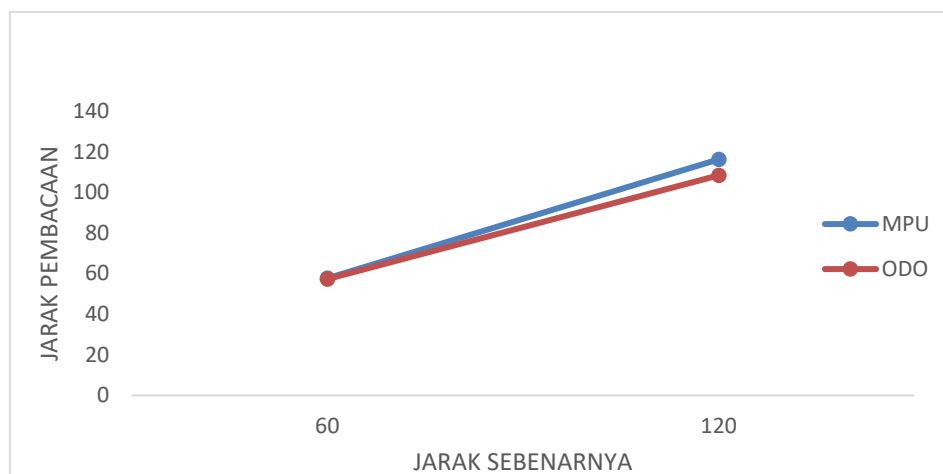
Gambar 5. Perbandingan pembacaan jarak perpindahan antara metode integral euler dengan metode perputaran roda pada kondisi mundur

Sebagaimana hasil pengujian pada Gambar 5. terlihat bahwa pembacaan menggunakan metode integral eurl dan metode perputaran roda keduanya kurang dari jarak sebenarnya, sedangkan hasil pembacaan yang paling mendekati jarak sebenarnya adalah pembacaan menggunakan metode integral eurl dengan eror 3.56%.



Gambar 6. Perbandingan pembacaan jarak perpindahan antara metode integral euler dengan metode perputaran roda pada kondsi kekiri

Sebagaimana hasil pengujian pada Gambar 6. terlihat bahwa pembacaan menggunakan metode integral eurl melebihi jarak sebenarnya, sedangkan pada pembacaan metode perputaran roda kurang dari jarak sebenarnya. Hasil pembacaan yang paling mendekati jarak sebenarnya adalah pembacaan menggunakan metode integral eurl dengan eror 5.44%.



Gambar 7. Perbandingan pembacaan jarak perpindahan antara metode integral euler dengan metode perputaran roda pada kondisi ke kanan

Sebagaimana hasil pengujian pada Gambar 7, terlihat bahwa pembacaan menggunakan metode integral euler dan metode perputaran roda keduanya kurang dari jarak sebenarnya, sedangkan hasil pembacaan yang paling mendekati jarak sebenarnya adalah pembacaan menggunakan metode integral euler dengan error 3.53%.

5. Kesimpulan

Hasil eksperimen akurasi pengukuran pengukuran jarak perpindahan kendaraan antara metode integral euler yang diterapkan pada sensor inersia dan metode perputaran roda yang diterapkan pada sensor inframerah untuk kendaraan otonom, didapatkan hasil bahwa penggunaan metode integral euler terbukti dapat digunakan untuk membaca jarak perpindahan kendaraan. Hasil pembacaan jarak perpindahan mendekati nilai jarak yang sebenarnya dari jarak perpindahan kendaraan dengan error yang lebih kecil dari 5%. Penggunaan metode perputaran roda juga dapat digunakan untuk membaca jarak perpindahan kendaraan dengan error yang lebih kecil dari 7%. Hasil pengujian perpindahan kendaraan otonom ini didapat dengan mengkombinasikan jarak perpindahan dengan arah pergerakan. Hasil perbandingan pembacaan jarak perpindahan menggunakan metode integral euler dan metode perputaran roda. Penggunaan metode integral euler lebih efektif dalam pembacaan jarak perpindahan kendaraan dibandingkan metode perputaran roda dengan perbandingan error 4.13625% berbanding 6.845%.

Referensi

- [1] T. Gamer, M. Hoernicke, B. Kloepper, R. Bauer, and A. J. Isaksson, "The Autonomous Industrial Plant -Future of Process Engineering, Operations and Maintenance," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 1, pp. 454–460, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.IFACOL.2019.06.104.
- [2] N. Correll, "Introduction to Autonomous Control," *University of Colorado Boulder*, pp. 1–226, 2016, Accessed: Nov. 01, 2021. [Online]. Available: <https://open.umn.edu/opentextbooks/textbooks/introduction-to-autonomous-robots>
- [3] Y. Liu, J. Zhao, J. Apple, T. Frank, M. Saylor, and T. Siegel, "An Autonomous Omnidirectional Robot," *Journal of Robotics*, vol. 2010, pp. 1–9, 2010, doi: 10.1155/2010/857594.
- [4] E. Kayacan, E. Kayacan, H. Ramon, and W. Saeys, "Velocity Control of a Spherical Rolling Robot Using a Grey-PID Type Fuzzy Controller With an Adaptive Step Size,"

- IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, no. 22, pp. 863–868, Jan. 2012, doi: 10.3182/20120905-3-HR-2030.00123.
- [5] L. Kamelia, E. A. D. Hamidi, W. Darmalaksana, and A. Nugraha, “Real-Time Online Attendance System Based on Fingerprint and GPS in the Smartphone,” *Proceeding of 2018 4th International Conference on Wireless and Telematics, ICWT 2018*, Nov. 2018, doi: 10.1109/ICWT.2018.8527837.
- [6] B. Anoohya B and R. Padhi, “Trajectory Tracking of Autonomous Mobile Robots Using Nonlinear Dynamic Inversion,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 1, pp. 202–207, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.IFACOL.2018.05.041.
- [7] G. Péter, B. Kiss, and V. Tihanyi, “Vision and odometry based autonomous vehicle lane changing,” *ICT Express*, vol. 5, no. 4, pp. 219–226, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.ICTE.2019.09.005.
- [8] Y. Zein, M. Darwiche, and O. Mokhiamar, “GPS tracking system for autonomous vehicles,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, no. 4, pp. 3127–3137, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.AEJ.2017.12.002.
- [9] H. A. Hashim, M. Abouheaf, and M. A. Abido, “Geometric stochastic filter with guaranteed performance for autonomous navigation based on IMU and feature sensor fusion,” *Control Engineering Practice*, vol. 116, p. 104926, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.CONENGP.2021.104926.
- [10] E. I. al Khatib, M. A. Jaradat, M. Abdel-Hafez, and M. Roigari, “Multiple sensor fusion for mobile robot localization and navigation using the Extended Kalman Filter,” *ISMA 2015 - 10th International Symposium on Mechatronics and its Applications*, Jan. 2016, doi: 10.1109/ISMA.2015.7373480.
- [11] Md. Nurujjaman, “Enhanced Euler’s Method to Solve First Order Ordinary Differential Equations with Better Accuracy,” Mar. 2020, doi: 10.5281/ZENODO.3731020.
- [12] H. author Anton, “Calculus : early transcendentals,” 2013, Accessed: Nov. 12, 2021. [Online]. Available: <http://lib.ui.ac.id>
- [13] by Daniel James Loughnane, “DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN AUTONOMOUS MOBILE SECURITY DEVICE”.
- [14] A. Paul, *Design of an autonomous navigation system for a mobile robot*. Library and Archives Canada = Bibliothèque et Archives Canada, 2007.
- [15] M. O. Tatar, C. Popovici, D. Mandru, I. Ardelean, and A. Plesa, “Design and development of an autonomous omni-directional mobile robot with Mecanum wheels,” *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2014*, 2014, doi: 10.1109/AQTR.2014.6857869.
- [16] “Teensy® 4.0.” <https://www.pjrc.com/store/teensy40.html> (accessed Nov. 12, 2021).
- [17] “MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4.” <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf> (accessed Nov. 01, 2021).
- [18] “E18-D80NK Sensor/Switch Datasheet pdf - Proximity Sensor/Switch. Equivalent, Catalog.” <https://datasheetspdf.com/pdf/1311840/tinkbox/E18-D80NK/1> (accessed Nov. 01, 2021).
- [19] “MPU-6000 and MPU-6050 Register Map and Descriptions Revision 4.2 MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Descriptions,” 2013, Accessed: Nov. 01, 2021. [Online]. Available: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Register-Map1.pdf>