

PERANCANGAN SISTEM TRACKING BERBASIS SENSOR FUSION (ENCODER DAN ACCELEROMETER) UNTUK MONITORING POSISI AGV

DESIGN OF TRACKING SYSTEM BASED ON SENSOR FUSION (ENCODER AND ACCELEROMETER) FOR AGV POSITION MONITORING

Addinul Rafif.¹, Angga Rusdinar², Ig. Prasetya Dwi Wibawas [10 pts]

^{1,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹addnrafif@students.telkomuniversity.ac.id, ²anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id,

³prasdwiwawa@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Peningkatan kebutuhan robot di dunia industri dilatar belakangi oleh daya saing antar perusahaan yang semakin ketat. Robot telah diimplementasikan di semua lini produksi untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas suatu produk terhadap permintaan pasar. *Automated Guided Vehicle* (AGV) merupakan salah satu dari banyak robot yang digunakan di dunia industri. AGV biasanya memiliki navigasi otomatis dan berfungsi untuk memindahkan barang dari satu tempat ke tempat lain. Kekurangan AGV saat ini adalah memiliki sistem *tracking* yang masih kurang akurat dalam pergerakan saat proses industri.

Pada tugas akhir ini penulis akan merancang sistem *tracking* untuk *monitoring* posisi dari pergerakan AGV. Penelitian ini menggunakan algoritma *differential steering* untuk mendapatkan posisi koordinat x dan y yang akan ditampilkan di *display*. Kecepatan dan percepatan roda AGV dihitung menggunakan sensor *encoder* dan *accelerometer* yang diambil datanya, kemudian akan diproses di *user* menjadi titik-titik koordinat.

Sebagai hasil dari penelitian tugas akhir ini pembacaan sensor *encoder* memiliki rentang *error* 0.1493202 m pada jalur lurus dan memiliki rentang *error* 1.8091 m pada jalur plan. Sensor *accelerometer* memiliki rentang *error* 0.0370698 m pada jalur lurus dan memiliki rentang *error* 1.8586 m pada jalur plan.

Kata kunci : *Automated Guided Vehicle, Sistem tracking, monitoring posisi, Differential Steering*

Abstract

Increasing the need for robots in the industrial world is due to the increasingly tight competitiveness between companies. The robot has been implemented in all production lines to improve the efficiency and quality of a product against market demand. Automated Guided Vehicle (AGV) is one of the many robots used in the industrial world. AGV usually has automatic navigation and functions to move goods from one place to another. The lack of AGV is having an automatic tracking system that is still inaccurate in movement during industrial processes.

In this final project the author will design a tracking system to monitor the position of the wireless AGV-based movements. This study uses a differential steering algorithm to get the position of the x and y coordinates that will be displayed on the display. The speed and acceleration of the AGV wheels are calculated using encoder and accelerometer sensors that are taken from the data, then will be processed in the user into coordinate points.

As a result of this thesis research, the reading of the encoder sensor has an error range of 0.1493202 m in the straight path and has an error range of 1.8091 m in the path plan. The accelerometer sensor has an error range of 0.0370698 m in the straight lane and has an error range of 1.8586 m in the lane plan.

Keywords: *Automated Guided Vehicle, tracking system, position monitoring, Differential Steering*

1. Pendahuluan

Dahulu pemindahan barang produksi dari suatu tempat ke tempat lain, menggunakan alat transportasi manual yang dikendalikan oleh seorang kendali, dan itu membutuhkan seseorang yang ahli dalam mengendarainya. Tetapi yang namanya manusia pasti ada kelalaian yang terjadi, dan

banyak terjadinya kecelakaan kerja. Jika pengoperasian tersebut digantikan oleh sistem otomatisasi, waktu akan lebih efektif, lebih efisien dan dapat mengurangi angka kecelakaan kerja^[1].

Automatic Guide Vehicle (AGV) adalah jenis robot yang digunakan untuk memindahkan barang, baik barang mentah atau barang hasil produksi. AGV sudah diprogram untuk bergerak menuju ke suatu tujuan dengan navigasi secara otomatis sehingga operator hanya bertugas untuk mengawasi AGV dari jarak jauh^[2].

Masih banyak kekurangan pada AGV, salah satunya adalah *positioning* AGV pada jalur yang sudah ditentukan dan masih besar *error position* yang dihasilkan AGV saat berjalan pada garis atau jalur yang telah dibuat. Pada tugas akhir ini akan mencoba menggabungkan 2 sensor yaitu sensor *encoder* dan *accelerometer*. Dengan tujuan dapat meningkatkan tingkat pembaruan posisi secara signifikan sekaligus mengurangi kesalahan pembacaan posisi saat AGV berjalan. Oleh sebab itu pada tugas akhir ini akan dibuat sistem *tracking* dari AGV.

2. Dasar Teori

2.1 Cara Kerja Konsep Solusi

Pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian tentang Sistem Tracking Automated Guided Vehicle (AGV) yang data kecepatannya diproses menjadi titik koordinat. Berdasarkan latar belakang, ada kekurangan AGV yang berjalan belum menyampaikan informasi posisi sesuai dengan garis atau jalur yang sudah ditentukan.

Penelitian ini menggunakan algoritma *differential steering* untuk mendapatkan posisi koordinat x dan y dari AGV. Dapat mengetahui kecepatan AGV yang berasal dari data kecepatan roda kanan (v_r) dan kiri (v_l) menggunakan encoder dan kecepatan pergerakan AGV menggunakan accelerometer yang akan diambil datanya untuk di proses di *personal computer*. Setelah itu kecepatan AGV dirubah menjadi kecepatan sudut yang digunakan untuk mendapatkan perubahan sudut dari pergerakan AGV. Dari perubahan sudut tersebut dapat ditentukan pergerakan AGV yang akan dirubah ke dalam bentuk titik koordinat.

2.2 Automated Guided Vehicle (AGV)

AGV (*Automated Guided Vehicle*) adalah salah satu jenis *mobile* robot yang banyak digunakan di bidang industri. AGV merupakan salah satu *mobile* robot jenis *self running* yang difungsikan untuk mengirimkan barang dari satu tempat ke tempat lain secara berkala. AGV beroperasi tanpa dikemudikan operator karena untuk beberapa kegunaan AGV sudah diprogram untuk bergerak menuju ke suatu tujuan dengan navigasi secara otomatis sehingga operator hanya bertugas untuk mengawasi dan mengendalikan AGV dari jarak jauh^[3]

2.3 Rotary Encoder

Rotary encoder merupakan perangkat mekatronika yang mengubah sudut posisi angular menjadi data analog atau data digital. Rotary encoder terdiri dari piringan yang memiliki lubang-lubang pada dekat sisi terluar dan rangkaian optocoupler. Cara kerja dari rotary encoder yaitu memutus dan menyambungkan optocoupler sesuai dengan lubang yang ada pada piringan melalui lubang-lubang yang terdapat pada piringan. Hal ini dapat menentukan berapa lubang yang sudah dilalui oleh optocoupler sehingga dapat mengetahui kecepatan masing-masing roda dan jarak yang telah ditempuh robot^[4].

2.4 Sensor Accelerometer

Accelerometer adalah alat yang mengukur akselerasi yang tepat^[5]. Akselerasi yang tepat, menjadi percepatan (atau laju perubahan kecepatan) suatu benda dalam kerangka tetapnya sendiri^[6], tidak sama dengan akselerasi koordinat, menjadi percepatan dalam sistem koordinat tetap. Model akselerometer tunggal dan multi-sumbu tersedia untuk mendeteksi besar dan arah akselerasi yang tepat, sebagai kuantitas vektor, dan dapat digunakan untuk merasakan orientasi (karena arah perubahan berat), mengoordinasikan percepatan, getaran, kejutan, dan jatuh dalam media resistif (kasus di mana percepatan yang tepat berubah, karena dimulai dari nol, kemudian meningkat).

2.5 Differential Steering

Differential Steering adalah jenis kemudi yang paling umum digunakan pada robot saat ini. Hal ini juga ditemukan pada berbagai peralatan bergerak lainnya, seperti forklift, tank, dan kursi roda. Sistem ini untuk meningkatkan kemampuan manuver pada robot. Robot yang dikemudikan atau digerakkan secara diferensial terdiri dari dua roda yang digerakkan secara independen di kedua sisi platform yang memakai sumbu rotasi yang sama. Jenis kemudi ini dapat mengubah arah dengan

membedakan kecepatan roda penggerak antara roda kiri dan roda kanan. Oleh karena itu tidak memerlukan mekanisme kemudi tambahan. Mengilustrasikan jalur yang dilalui oleh dua roda penggerak. Jika $V_l > V_r$ maka robot akan bergerak ke kanan, jika $V_l < V_r$ robot akan bergerak ke kiri. Dan jika $V_l = V_r$ robot akan bergerak lurus.

2.6 Perhitungan Kecepatan Linear AGV menggunakan Rotary Encoder^[7]

Pembentukan model sistem kontrol pada AGV didasarkan oleh titik koordinat yang diperoleh dari perhitungan rotary encoder. Berikut ini merupakan variabel yang telah diketahui oleh sensor berdasarkan jarak antara robot pengikut dengan robot pemandu.

Pelabelan pada variabel yang telah ditentukan ialah ω , E_L , E_R , rad , v_L , v_R , α_p . Dengan menggunakan variabel-variabel ini, posisi yang diketahui ialah dengan pembacaan nilai encoder serta perhitungan yang akan dijabarkan dibawah ini sehingga mendapatkan nilai kecepatan angular tiap roda dan kecepatan tiap roda yang dapat didefinisikan dengan.

$$\omega_{(L,R)} = \frac{\alpha}{t} \text{ rad/s} \quad (1)$$

$\omega_{(L,R)}$ = Angular velocity kiri dan kanan
 α = Sudut tempuh
 t = Waktu tempuh

Persamaan (1) menjabarkan rumus utama dari kecepatan angular.

$$\alpha_p = \frac{360^\circ}{n} \quad (2)$$

α_p = Sudut per-pulsa yang akan menjadi titik acuan encoder
 n = Jumlah celah pada piringan encoder

Persamaan (2) menjabarkan rumus untuk sudut per-pulsa.

$$\omega_{(L,R)} = \frac{E_{(L,R)} \times \alpha_p \times \frac{\pi}{180^\circ}}{t} \quad (3)$$

$E_{(L,R)}$ = Nilai encoder kanan dan kiri (digital)

Persamaan (3) menjabarkan mengenai rumus secara keseluruhan untuk mendapatkan $\omega_{(L,R)}$.

Dimana ω merepresentasikan kecepatan angular setiap roda. Parameter kontrol untuk pergerakan robot ialah pada kecepatan roda kiri dan kanan, kecepatan tiap roda dan kecepatan robot dapat didefinisikan dengan

$$V_{(L,R)} = \omega_{(L,R)} \times r \quad (4)$$

$V_{(L,R)}$ = Kecepatan roda kiri dan kanan
 r = Jari-jari roda

Persamaan (4) menjabarkan mengenai rumus mencari kecepatan masing-masing roda. Hasil ini berguna untuk mengetahui angular serta kecepatan dari masing-masing roda AGV.

2.7 Perhitungan Kecepatan Linear AGV menggunakan Accelerometer^[8]

Dalam menentukan titik koordinat juga dibutuhkan nilai dari pembacaan sensor accelerometer yang dapat diolah secara matematis dengan menentukan nilai v menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V = V_0 + a \cdot dT \quad (5)$$

V = Kecepatan AGV (cm/s)
 a = Nilai percepatan dari Sensor Accelerometer (cm/s²)
 dT = Time sampling (ms)

Mencari kecepatan menggunakan sensor accelerometer bertujuan untuk fusion dengan hasil kecepatan dari pembacaan sensor encoder. Sehingga nanti akan menghasilkan suatu nilai yang lebih bagus.

2.8 Persamaan Kinematika Robot^[9,10]

Untuk menentukan kecepatan AGV, dengan rumus sebagai berikut:

$$v = (vl + vr) / 2 \quad (6)$$

vl = Kecepatan roda kiri AGV (cm/s)
 vr = Kecepatan roda kanan AGV (cm/s)
 v = Kecepatan AGV (cm/s)

Untuk menentukan kecepatan sudut AGV, dengan rumus sebagai berikut:

$$\omega = (vr - vl) / l \quad (7)$$

ω = Kecepatan sudut AGV (rad/s)

l = Jarak antar roda kiri dengan roda kanan AGV (cm)

Untuk menentukan nilai teta, dengan rumus sebagai berikut:

$$\theta = \theta_0 + \omega \tag{8}$$

θ_0 = Besar sudut awal (radian)

θ = Besar sudut (radian)

2.9 Odometry Localization^[10]

Kinematika adalah studi paling dasar tentang bagaimana sistem mekanik berperilaku. Dalam mobile robots, perlu pemahaman perilaku mekanik robot baik untuk merancang mobile robot yang sesuai untuk tugas yang diinginkan dan untuk memahami bagaimana membangun sistem kontrolnya. Perpindahan dari posisi $P(qc)$ (x_c, y_c, θ_c) ke posisi $R(qd)$ (x_d, y_d, θ_d).

Sistem koordinat robot dikendalikan oleh dua buah kecepatan yaitu kecepatan linear (v) dan kecepatan sudut (ω). Dengan menggunakan pendekatan geometri sehingga didapat persamaan kartesius robot adalah :

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v \cos \theta \\ \dot{y} &= v \sin \theta \\ \dot{\theta} &= \omega \end{aligned} \tag{9}$$

Dimana $v \cos \theta$ dan $v \sin \theta$ merupakan komponen dari v sepanjang axis X dan Y, dan x, y dan orientasi θ merupakan ukuran yang mengacu pada Inertial Frame. Dalam tugas akhir ini, diperoleh data dari enkoder tambahan (odometry), yang dipasang bersama dengan motor robot mobile. Incremental encoders mengukur rotasi roda, yang pada gilirannya, menghitung posisi dan orientasi robot menggunakan pendekatan integrasi model kinematik [$t_k, t_k + 1$].

Dengan mengasumsikan konfigurasi robot q_k (x_k, y_k, θ_k) dan masukan kecepatan konstan v_k dan ω_k diketahui pada waktu diskrit t_k , kemudian dengan menggunakan integrasi Euler :

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= x_k + v_k T_s \cos \theta_k \\ y_{k+1} &= y_k + v_k T_s \sin \theta_k \\ \theta_{k+1} &= \theta_k + \omega_k T_s \end{aligned} \tag{10}$$

Dimana

$$\begin{aligned} v_k T_s &= \Delta s \\ \omega_k T_s &= \Delta \theta \\ T_s &= t_{k+1} - t_k \end{aligned} \tag{11}$$

Rekonstruksi konfigurasi robot saat ini didasarkan pada data encoder tambahan (odometry). Biarkan $\Delta \omega R$ dan $\Delta \omega L$ menjadi jumlah rotasi roda yang diukur selama waktu sampling T_s . Perpindahan linear dan sudut dari robot diberikan sebagai berikut:

$$\Delta s = \frac{r}{2} (v_R + v_L), \Delta \theta = \frac{r}{l} (v_R - v_L) \tag{12}$$

Untuk robot differential steering, posisi dapat diperkirakan mulai dari posisi yang diketahui dengan mengintegrasikan gerakan (menjumlahkan kenaikan jarak tempuh). Perkiraan konfigurasi robot pada saat t_k dihitung sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \theta_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \\ \theta_{k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta s \\ \Delta \theta \end{bmatrix}$$

2.10 Kalman Filtering^[11]

Kalman filter adalah sekumpulan persamaan matematika yang menawarkan cara komputasi yang rekursif dan efisien untuk mengestimasi state dari proses, sedemikian rupa sehingga meminimumkan rata-rata dari kuadrat error.

Pada Kalman Filter dilakukan dua tahapan yaitu time update dan measurement update terhadap data-data pengukuran untuk memperbaiki estimasi. Tahap prediksi adalah suatu tahapan untuk mengubah suatu keadaan menjadi keadaan berikutnya dengan mengabaikan error yang ada. Adapun rumus matematika kalman filter sebagai berikut :

Tahap Prediksi

Predict State $X' = X$ (13)

Predict error covariance $P' = P+Q$ (14)

Tahap Pembaruan

Kalman gain $K = P'/(P'+R)$ (15)

Update estimasi pakai K $X'' = X'+K*(data-X')$ (16)

Update the error covariance $P'' = (1-K)*P'$ (17)

Keterangan :

X = Nilai yang difilter

K = Kalman gain

P = Error estimasi

Q = Noise yang dihasilkan dari proses

R = Noise dari sensor

Setelah itu mencari p,q, dan r dari nilai data yang telah di fusion :

$$P = y2-y1 \tag{18}$$

$$Q = x1-x2 \tag{19}$$

$$R = (x2-x1)*y1 + (y1-y2)*x1 \tag{20}$$

Keterangan :

x1 = titik koordinat x encoder

x2 = titik koordinat x accelerometer

y1 = titik koordinat y encoder

y2 = titik koordinat y accelerometer

Selanjutnya memfilter data yang difusion dengan menggabungkan noise dari sensor dan proses, setelah itu meminimumkan rata-rata kuadrat error :

$$F = ((P*X'') + (Q*X'') + R) \tag{21}$$

$$A = \sqrt{p^2 + q^2} \tag{22}$$

$$Fi = \frac{F}{A} \tag{23}$$

Keterangan :

F = Hasil data noise

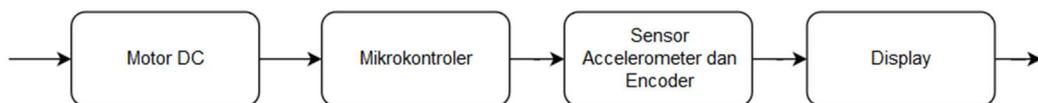
A = akar kuadrat error

Fi = Data yang telah difilter

3. Perancangan Sistem

3.1 Diagram Blok Sistem

Sistem yang dirancang pada tugas akhir ini terdiri dari dua bagian yang terdiri dari sistem pada AGV dan sistem pada User. Sistem kontrol yang akan dirancang pada tugas akhir ini akan diilustrasikan pada diagram berikut :



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

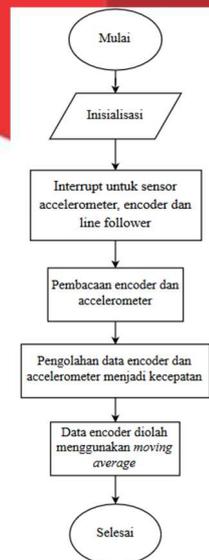
Sistem pada AGV digunakan untuk mengetahui kecepatan dan posisi dari AGV dimana data tersebut akan dikirim ke user. Sensor encoder dipasang pada roda kanan dan kiri AGV dan membaca banyaknya putaran roda dan sensor accelerometer dipasang pada bagian tengah AGV. Data yang diterima oleh mikrokontroler (Arduino Uno) kemudian diolah sehingga didapat nilai kecepatan pada masing-masing roda. Setelah memperoleh data kecepatan, data dikirimkan ke Personal computer. Pada tugas akhir ini, menggunakan mikrokontroler Arduino Mega. Data kecepatan yang diolah menghasilkan data koordinat dan kemudian akan ditampilkan posisi lokasi AGV pada display.

3.2 Desain Perangkat Keras

Dalam mendesain perangkat keras sistem, dibutuhkan beberapa komponen dengan spesifikasi seperti dibawah ini :

1. Arduino Mega 2560
2. Driver Motor
3. Personal Computer (pc)
4. Sensor Rotary Encoder
5. Sensor Accelerometer

3.3 Diagram Alir Kerja Sistem Pada AGV



Gambar 3.3 Diagram Alir Sistem pada AGV

Robot AGV akan bergerak sesuai jalur yang telah disediakan berdasarkan sensor Line Follower. Sensor encoder mulai membaca setiap putaran dari roda dan accelerometer mulai membaca data kecepatan dan sudut yaw, pitch, roll dan akan menampilkan data serial. Setelah data encoder dan accelerometer didapat, maka mikrokontroler (Arduino Mega) akan menghitung nilai kecepatan yang nanti akan dikirimkan ke serial monitor. Pada sistem ini dalam penghitungan nilai kecepatan menggunakan metode Moving Average dan rumus fisika dasar.

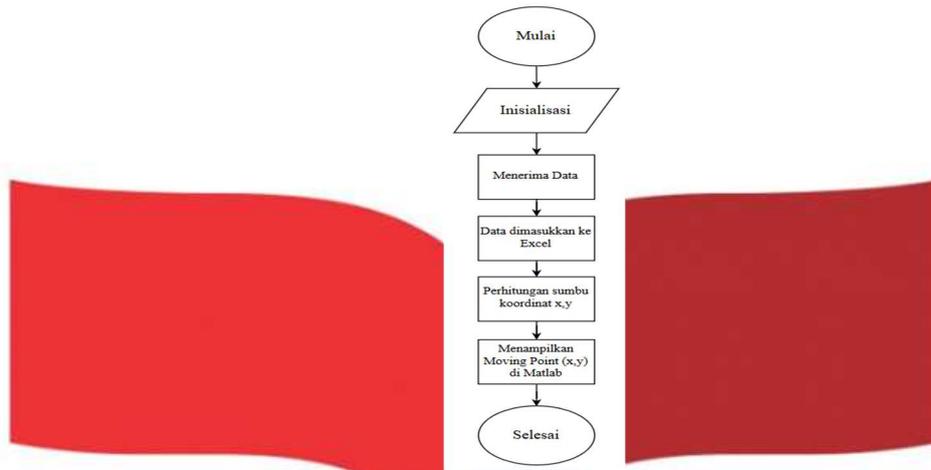
$$j = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n Di)$$

n = jumlah periode data yang akan dirata-ratakan

Di = nilai data pada periode- i

Metode Average Moving digunakan pada pembacaan sensor agar data yang didapat lebih stabil.

3.4 Diagram Alir Kerja Sistem Pada User



Gambar 3.4 Diagram Alir Sistem pada User

Pada gambar 3.4, data yang diterima adalah data kecepatan kiri dan kanan AGV. Pengolahan tersebut meliputi perhitungan nilai RPM dan nilai Accelerometer yang diterima hingga menjadi titik koordinat x,y. Data sensor dimasukkan ke Excel dan diproses menggunakan *Matlab*. Sehingga nanti akan muncul grafik moving point dari data koordinat yang telah diolah.

4. Hasil Percobaan dan Analisis

4.1 Nilai Error pada Pembacaan Encoder dan Accelerometer Berdasarkan Jarak Tempuh

Dari 10 pengujian yang telah dilakukan dengan menjalankan AGV pada jalur lurus, dapat diketahui nilai persentase *error* dari *encoder* dan *accelerometer* dengan membandingkan jarak tempuh yang diukur melalui pembacaan sensor dengan jarak tempuh yang diukur dengan pengukur jarak sebenarnya dengan menggunakan formula dibawah ini:

$$Error = \left| \frac{S_{total} - S_{total(e/a)}}{S_{total}} \right| \times 100\%$$

Berdasarkan formula di atas sehingga didapatkan data perbandingan pembacaan jarak encoder dengan jarak sebenarnya sebagai berikut:

Tabel 4.1 Perbandingan Jarak Sebenarnya Encoder dan Accelerometer

No	S _{total} (m)	S _{total(e)} (m)	Error (%)	S _{total} (m)	S _{total(a)} (m)	Error (%)
1	3,0	2.965888237	1.14%	3,0	3.165633	5.52%
2	3,0	3.013267	1.3%	3,0	3.030942	1.03%
3	3,0	3.073299	2.44%	3,0	3.040466	1.34%
4	3,0	3.126256	4.20%	3,0	2.950453	1.65%
5	3,0	3.006639247	0.22%	3,0	3.559107	18.63%

Berdasarkan Tabel IV-11, diketahui nilai error yang terjadi dari pembacaan encoder mencapai 4,20% dengan minimum error 0,22% dan nilai error pembacaan accelerometer mencapai 18,63% dengan minimum error 1,03%. Nilai rata-rata error dari masing-masing pembacaan sensor, encoder = 1,23% dan accelerometer = 4,97%. Jarak tempuh rata-rata dari pembacaan sensor encoder = 3,1493202 m dan accelerometer = 3,0370698 m

4.2 Pemetaan Berdasarkan Jalur Plan

Tabel 4.3 Titik koordinat Jalur plan dengan Hasil data

Koordinat Akhir	Encoder (x,y)	Accelerometer	Error Encoder(m)	Error Accelerometer(m)
1	(-2,6125, -1,4562)	(-3,3154, -1,6189)	2.9909	3.6895
2	(-2,0125, -0,9562)	(-6,4027, -1,8281)	2.2281	6.6586

3	(-2.3125, -1.0062)	(-2.5175, -1.5486)	2.5219	2.9556
4	(-2,0125, -1.1859)	(-0.3816, -1.7470)	2.3359	1.7882
5	(-1.7843, -0.9562)	(-2.4371, -1.4733)	2.0243	2.8478

4.3 Pengaplikasian Kalman Filter

Pembacaan data yang dilakukan oleh dua sensor tersebut sulit untuk mendapat nilai yang keakuratannya tinggi karena banyak faktor yang mengurangi akurasi data tersebut. Dari sensor encoder yang terus membaca nilai walaupun AGV berjalan tidak sesuai garis. Sensor accelerometer memiliki kelemahan dalam keakuratan membaca percepatan gerak AGV.

Dua sensor tersebut memiliki noise yang sangat besar sehingga dibutuhkan filter untuk mengurangi error tersebut. Kalman filter memiliki kemampuan yang cukup membantu untuk mengurangi error. Disini Kalman Filter dipasang untuk memperbaiki titik koordinat x,y dari kedua sensor. Hasil perhitungan *trajectory* dua sensor tersebut akan difusion, setelah itu akan diperbaiki kalman filter menggunakan aplikasi *Matlab*

5. Kesimpulan dan Saran

Membuat *encoder* secara mandiri membutuhkan perhitungan dan ketepatan dalam meletakkan sensor *optocoupler* yang pas, agar pembacaan nilai digital lebih baik. Jumlah celah *encoder* juga sangat mempengaruhi akurasi pembacaan kecepatan, semakin banyak jumlahnya akan semakin akurat data yang dihasilkan. Pembacaan sensor *encoder* memiliki rentang *error* mencapai 0.1493202 pada jalur lurus dan 1.8091 m pada jalur plan. Hal tersebut terjadi karena pergerakan AGV yang masih belum sempurna pada jalur yang sudah ditentukan. Pembacaan sensor *encoder* memiliki rentang *error* mencapai 0.0370698 m pada jalur lurus dan 1.8586 m pada jalur plan. Ketika nilai kedua sensor digabungkan (*fusion*), nilai yang dihasilkan lebih baik, tapi jauh dari akurat posisi koordinat yang seharusnya. Perhitungan Kalman filter yang masih belum sempurna.

6. Daftar Pustaka

- [1] https://idslide.net/view-doc.html?utm_source=15-04-871-bab1
- [2] Ullrich, Günter “Automated Guided Vehicle Systems: A Primer with Practical Applications” Oberheimbach, Germany
- [3] Ullrich, Günter “Automated Guided Vehicle Systems: A Primer with Practical Applications” Oberheimbach, Germany
- [4] P. Sensor, “WP-2011 : *The Basics Of How An Encoder Works*,” pp. 2011–2012, 2012.
- [5] Tinder, Richard F. (2007). *Relativistic Flight Mechanics and Space Travel: A Primer for Students, Engineers and Scientists*. Morgan & Claypool Publishers. p. 33. *ISBN 978-1-59829-130-8. Extract of page 33*
- [6] Rindler, W. (2013). *Essential Relativity: Special, General, and Cosmological* (illustrated ed.). Springer. p. 61. *ISBN 978-1-4757-1135-6. Extract of page 61*
- [7] ShenZhen, Yi Shi Electronic Technology Development Co., Ltd. (2009). YS-C20K Manual.
- [8] <http://www.batesville.k12.in.us/physics>
- [9] Rusdinar, A., & Kim, S. (2012). Model of Vision Based Robot Formation Control Using Fuzzy Logic Controller and Extended Kalman Filter. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol. 12, no 3, Sept 2012, pp. 238-244.
- [10] Malu , Sandeep Kumar, & Majumdar, Jharna (2014), “Kinematics, Localization and Control of Differential Drive Mobile Robot” , *Global Journal of Researches in Engineering, USA*
- [11] Shafiyah, 2016. Perancangan dan implementasi prototype sistem monitoring posisi perahu nelayan di perairan laut menggunakan sistem gps berbasis arduino dengan metoda kalman filter, pp. 29-30.