

PEMETAAN 3 DIMENSI UNTUK MENENTUKAN JALUR EVAKUASI ALTERNATIF PADA SMART ROBOTRESCUE

Rodik Wahyu Indrawan¹, Indra Adji Sulistijono¹, Achmad Basuki¹

¹Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS)
Kampus PENS, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

Email: rodikwahyu@student.pasca.pens.ac.id¹, indra@pens.ac.id², basuki@pens.ac.id³

Abstrak

Penanganan evakuasi pasca bencana sangat membahayakan bagi korban maupun tim penyelamat yang akan melakukan evakuasi, khususnya area di dalam ruangan, ini disebabkan karena area yang belum terpetakan. Pada penelitian ini kami mengaplikasikan robot rescue untuk melakukan surve pada daerah pasca bencana, khususnya area di dalam ruangan (*indoor area*). Robot didesain dengan mekanik yang memungkinkan untuk melewati medan pasca bencana, sensor posisi yang diproses menggunakan metode odometry untuk melakukan rekam data pergerakan yaitu posisi dan orientasi dari robot, sensor observasi yang di proses dengan Kalman filter untuk melakukan deteksi lingkungan area robot pada saat melakukan navigasi, data sensor dan aktuator pada robot akan diproses lebih lanjut oleh GCS (*Ground Control Station*) untuk menghasilkan informasi berupa peta atau denah area (*indoor*) dan jalur evakuasi alternatif dengan metode Flood Fill. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, sistem navigasi menggunakan odometry pada area pasca bencana menghasilkan rekam posisi dan diperlukan perbaikan data posisi dan orientasi dengan menambahkan sensor absolute (menggunkan lokal GPS *Global Positioning System* atau IMU *Inertial Measurement Unit*). *Fusion data motion model* dan *observation model* menghasilkan pemetaan 3 dimensi dari area navigasi robot dan informasi jalur terpendek antara posisi victim dengan pintu *emergency* yang terdekat, sehingga data peta dan jalur memungkinkan tim SAR (*Search And Rescue*) untuk lebih efektif dalam melakukan evakuasi terhadap korban pasca bencana pada area di dalam ruangan.

Kata Kunci: Pemetaan, Odometry, Flood Fill, Robot Rescue.

Abstract

Post-disaster evacuation is very dangerous for victims and rescue teams who will do the evacuations, especially in the indoor area, this is due to unmapped areas. In this study we applied a rescue robot to conduct surveillance in post-disaster areas, especially areas in the room (*indoor area*), robots are designed with mechanics that allow it to pass through post-disaster terrain, position sensors are processed using the odometry method to record movement data that are position and orientation of the robot, the observation sensor that is processed with Kalman Filter to detect the robot area environment while navigating, sensor data and actuators on the robot will be further processed by GCS (*Ground Control Station*) to produce information in the form of maps or floor plans (*indoor*) and alternative evacuation routes using the Flood Fill method. The results showed that the navigation system using odometry in the post-disaster area produced a position record and needed improvement in position and orientation data by adding absolute sensors (using local GPS *Global Positioning System* or IMU *Inertial Measurement Unit*). *Fusion data motion models* and *observation models* produce 3-dimensional mapping of the robot's navigation area and information on the shortest path between the victim's position and the nearest emergency door, so map data and paths allow search and rescue teams to be more effective in evacuating post-disaster victims in the indoor area.

Keywords: Mapping, Odometry, Flood Fill, Robot Rescue.

1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak di daerah katulistiwa dengan morfologi yang beragam dari daratan sampai pegunungan tinggi. Keragaman morfologi banyak dipengaruhi oleh faktor geologi terutama dengan adanya aktivitas pergerakan lempeng tektonik aktif di sekitar perairan Indonesia. Pergerakan lempeng-lempeng tektonik tersebut menyebabkan terbentuknya jalur gempa bumi, rangkaian gunung api aktif serta patahan-patahan geologi yang merupakan zona rawan bencana gempa bumi dan tanah longsor. Dalam sebuah bencana dibutuhkan evakuasi sebelum, selama, dan setelah bencana terjadi [1]. Pada penelitian ini akan dibahas pemetaan lokasi untuk evakuasi

pasca terjadi bencana. Evakuasi setelah bencana ditujukan untuk melakukan pertolongan kepada korban yang masih tertinggal atau belum bisa keluar dari area bencana. Evakuasi harus segera dilakukan untuk menyelamatkan korban, khususnya korban yang masih dalam keadaan hidup pada sebuah reruntuhan akibat gempa.

Tim SAR (*Search And Rescue*) merupakan salah satu tim yang bertugas untuk melakukan evakuasi korban bencana. Pada penanganan evakuasi setelah bencana gempa di dalam gedung, tim SAR akan melakukan pencarian pada korban yang tertinggal atau terjebak. Masalah yang dihadapi tim SAR pada pencarian korban yaitu belum terpetakan kondisi dalam

ruangan pada gedung setelah terjadi bencana, dan rentannya reruntuhan pada gedung sangat berbahaya untuk dimasuki oleh tim, sehingga diperlukan pemetaan kondisi dalam gedung setelah terjadi bencana gempa. Berdasarkan permasalahan yang terjadi pada penanganan evakuasi setelah bencana gempa di dalam gedung, maka pada penelitian ini akan membuat Smart Robot Rescue, yaitu *mobile* robot yang didesain khusus untuk area bencana, dilengkapi sensor untuk merekam jejak navigasi dan posisi obstacle di area navigasi, GCS (*Ground Control Station*) sebagai kontrol pergerakan dan analisa data. Smart Robot Rescue digunakan untuk melakukan pemetaan area pada lokasi di dalam gedung dan informasi jalur alternatif evakuasi pada peta, dengan posisi target dan posisi lokasi untuk evakuasi ditentukan oleh tim SAR berdasarkan informasi dari peta yang telah terbentuk. Smart Robot Rescue akan memonitoring daerah target dengan data yang dihasilkan tidak hanya berupa video streaming, tetapi juga berupa peta. Peta tersebut merupakan hasil pemetaan daerah target oleh Smart Robot Rescue, sehingga bisa diketahui posisi lingkungan pada daerah tersebut. Dari peta yang dihasilkan oleh Smart Robot Rescue bisa diketahui jalur mana yang bisa digunakan sebagai jalur alternatif evakuasi, sehingga bisa memudahkan tim SAR untuk mengevakuasi korban di daerah tersebut.

Pada pelaksanaan penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan. Pertama, sistem navigasi robot dalam menjejaki ruangan yaitu design mekanik robot yang mendukung untuk robot dalam melakukan pergerakan atau manuver, serta melakukan observasi area, berupa record jalur pergerakan dan posisi obstacle di area observasi. Kedua adalah pembentukan visualisasi peta dari data pergerakan robot serta data observasi lingkungan yang dinavigasi menggunakan sistem SLAM (*Simultaneous Localisation And Mapping*). Ketiga menentukan jalur evakuasi alternatif antara posisi koordinat *victim* atau korban dengan posisi koordinat pintu keluar

(*emergency exit*) dari data peta atau denah yang telah terbentuk.

Adapun sistematika pembahasan dalam penelitian ini meliputi beberapa bagian. Pertama merupakan penjelasan mengenai latar belakang penelitian pemetaan area pasca bencana menggunakan robot, kedua menjelaskan tentang kajian pustaka yang berisi penelitian-penelitian yang terkait, yaitu filter Kalman, metode odometry, transformasi tiga dimensi untuk visualisasi data. Ketiga menjelaskan tentang desain dari sistem yang diusulkan, meliputi desain sistem secara umum, desain mekanik, perangkat keras, perangkat lunak, sistem kendali dan manajemen data dari sistem yang dibangun. Keempat menjelaskan hasil eksperimen dan analisis dari sistem yang dibangun tingkat akurasi dan *error* data pada saat pengujian. Terakhir merupakan kesimpulan dari sistem pemetaan dari penelitian yang telah dikerjakan.

2. METODE

A. Kalman Filter

Kalman Filter adalah rangkaian teknik perhitungan matematika (algoritma) yang memberikan perhitungan efisien dalam penyelesaian rekursif pada masalah filtering data diskrit yang linear [2].

Kalman Filter merupakan suatu pendekatan teknis untuk menaksir fungsi parameter dalam peramalan deret berkala (time series). Keunggulan metode KF adalah kemampuannya dalam mengestimasi suatu keadaan berdasarkan data yang minim. Data minim yang dimaksud adalah data pengukuran (alat ukur) karena KF merupakan suatu metode yang menggabungkan model dan pengukuran. Data pengukuran terbaru menjadi bagian penting dari algoritma KF karena data mutakhir akan berguna untuk mengoreksi hasil prediksi, sehingga hasil estimasinya selalu mendekati kondisi yang sebenarnya [3]. Bentuk umum sistem dinamik stokastik linier diskrit adalah:

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + w_k \quad (1)$$

dengan pengukuran $z_k \in \mathcal{R}^p$ yang memenuhi:

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (2)$$

$$x_0 \sim N(\bar{x}_0, P_{x_0}); w_k \sim N(0, Q_k); v_k \sim N(0, R_k) \quad (3)$$

dengan :

- x_0 = inisial dari sistem,
- x_{k+} = variabel keadaan pada waktu dan berdimensi,
- x_k = variabel keadaan waktu k yang nilai estimasi awalnya \bar{x}_0 dan kovariansi awal P_{x_0} , $x_k \in \mathbb{R}^n$,
- k = vektor masukan deterministik, pada waktu k , $x_k \in \mathbb{R}^n$,
- w_k = noise pada sistem dengan mean $\bar{w}_k = 0$ dan kovariansi awal Q_k ,
- z_k = variabel pengukuran, $z_k \in \mathbb{R}^p$,
- v_k = noise pada pengukuran dengan mean $\bar{v}_k = 0$ dan A, B kovariansi awal R_k , dan
- k, H_k = matriks-matriks dengan nilai elemen-elemennya adalah koefisien variabel masing-masing.

Variabel $w_k \sim N(0, Q_k)$ dan $v_k \sim N(0, R_k)$ ini diasumsikan *white* (berdistribusi normal dengan mean 0), tidak berkorelasi satu sama lain maupun dengan nilai estimasi awal \bar{x}_0 .

Tabel 1. Algoritma Kalman Filter.

Model sistem dan model pengukuran
$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + w_k$ $z_k = H_k x_k + v_k$ $x_0 \sim N(\bar{x}_0, P_{x_0}); w_k \sim N(0, Q_k); v_k \sim N(0, R_k)$
Inisialisasi
$\hat{x}_0 = \bar{x}_0, P_0 = P_{x_0}$
Tahap prediksi
Estimasi : $\hat{x}_{k+1}^- = A_k \hat{x}_k + B_k u_k$ Kovariansi error : $P_{k+1}^- = A_k P_k A^T + Q_k$
Tahap koreksi
Kalman gain: $K_{k+1} = P_{k+1}^- (H_{k+1} P_{k+1}^- H_{k+1}^T + R_{k+1})^{-1}$ Estimasi : $\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1}^- + K_{k+1} (z_{k+1} - H_{k+1} \hat{x}_{k+1}^-)$ Kovariansi error : $P_{k+1} = [I - K_{k+1} H_{k+1}] P_{k+1}^-$

Sumber : Purnomo, K. D. Aplikasi Metode Ensemble Kalman Filter pada Model Populasi Plankton. Jurnal ILMU DASAR, Vol. 9 No. 1, Hal. 40, January 2008.

Pada Tabel 1 menunjukkan algoritma Kalman filter yang terdiri dari empat bagian, diantaranya bagian pertama mendefinisikan model sistem dan model pengukuran, bagian kedua merupakan nilai awal (inisialisasi), selanjutnya ketiga dan keempat masing-masing tahap prediksi dan koreksi [4].

B. Odometry

Odometry adalah metode navigasi yang banyak digunakan untuk menentukan posisi pada mobile robot [6][7][9]. Pada penelitian ini posisi mekanik roda menggunakan desain roda differensial. Sistem differensial menggunakan dua roda, yaitu roda kiri dan roda kanan. Perhitungan odometry robot misalkan robot bergerak pada jarak tertentu, dapat diasumsikan pergerakan roda kiri (d_{left}), pergerakan roda kanan (d_{right}), jarak antara roda kiri dan kanan ($d_{baseline}$), jarak tempuh (d_{center}), dan sudut orientasi (φ).

Persamaannya adalah sebagai berikut.

$$d_{center} = \frac{d_{left} + d_{right}}{2} \quad (4)$$

$$\varphi_{r_{left}} = d_{left} \quad (5)$$

$$\varphi_{r_{right}} = d_{right} \quad (6)$$

karena $d_{baseline}$ adalah jarak antara roda kiri dan kanan, maka:

$$r_{left} + d_{baseline} = d_{right} \quad (7)$$

dari persamaan (5) dan persamaan (6), maka dapat dilakukan perhitungan:

$$\varphi_{r_{right}} - \varphi_{r_{left}} = d_{right} - d_{left} \quad (8)$$

$$\varphi (r_{right} - r_{left}) = d_{right} - d_{left} \quad (9)$$

$$\varphi d_{baseline} = d_{right} - d_{left} \quad (10)$$

$$\varphi = \frac{d_{right} - d_{left}}{d_{baseline}}$$

$$P_x = x - r_{center} \cos(\theta - \pi / 2) = x - r_{center} \sin(\theta) \quad (11)$$

$$P_y = y - r_{center} \sin(\theta - \pi / 2) = y - r_{center} \cos(\theta) \quad (12)$$

dari persamaan (10) dan (11), maka dapat dihitung x dan y :

$$x' = P_x + r_{center} \cos(\varphi + \theta - \pi / 2) = x - r_{center} \sin(\theta) + r_{center} \sin(\varphi + \theta) = x + r_{center} [-\sin(\theta) + \sin(\varphi) \cos(\theta) + \sin(\theta) \cos(\varphi)] \quad (13)$$

$$y' = P_y + r_{center} \sin(\varphi + \theta - \pi / 2) = y - r_{center} \cos(\theta) + r_{center} \cos(\varphi + \theta) = y + r_{center} [\cos(\theta) + \cos(\varphi) \cos(\theta) + \sin(\theta) \sin(\varphi)] \quad (14)$$

nilai dari $\sin(\varphi)$ adalah mendekati nol, diasumsikan nilai dari $\sin(\varphi) = \varphi$ dan $\cos(\varphi) = 1$, sehingga nilai x dan y :

$$x' = x + r_{center} [-\sin(\theta) + \varphi \cos(\theta) + \sin(\theta)] = x + r_{center} \varphi \cos(\theta) = x + r_{center} \cos(\theta) \quad (15)$$

$$y' = y + r_{center} [\cos(\theta) - \cos(\theta) + \varphi \sin(\theta)] = y + r_{center} \varphi \sin(\theta) = y + r_{center} \sin(\theta) \quad (16)$$

dari beberapa persamaan di atas, maka nilai

$$\theta' = \theta + \varphi \tag{17}$$

$$x' = x + d_{center} \cos(\theta) \tag{18}$$

$$y' = y + d_{center} \sin(\theta) \tag{19}$$

C. Algoritma flood fill

Flood Fill adalah metode untuk menentukan area atau *node* yang terhubung ke *node*/area tertentu dalam array multidimensi [19] [20]. Analogi dari algoritma Flood Fill adalah seperti menumpahkan air pada suatu area, maka air akan mengalir semakin melebar melalui titik-titik yang paling dekat dan tidak terhalang, sehingga seluruh area tertutup oleh air tersebut. Terdapat parameter-parameter penting dalam algoritma Flood Fill, yaitu *node* awal, *node* akhir, parameter target, dan parameter pengganti. Alur proses dimulai dari *node* awal, memberikan inisialisasi suatu parameter data, kemudian menuju *node-node* yang berdekatan dan memberikan inisialisasi data lebih besar dari parameter data sebelumnya, proses tersebut berulang sampai mendapatkan *node* akhir [21] [22][23].

D. Penelitian Terkait

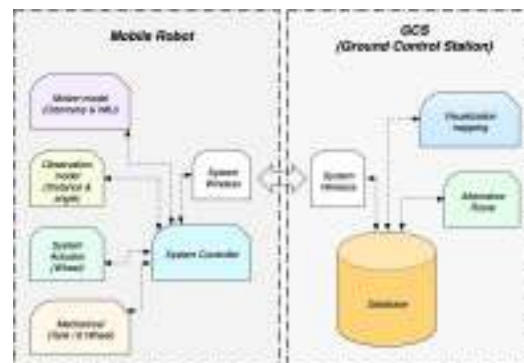
Pengembangan perangkat untuk robot penyelamat meliputi pembuatan perangkat mekanik untuk manufer dan perangkat lunak untuk kendali robot, kendali multi sensor dan alat bantu manusia menggunakan robot, misalnya, ide perilaku yang diotomatiskan (*automated behavior*) untuk robot yang bisa berubah bentuk (*shape-shifting*) dipaparkan di [10]. Sistem kendali multisensor untuk robot penyelamat bisa dilihat di [8], sedangkan perangkat lunak yang dikembangkan untuk membantu operator manusia melalui sistem pakar cerdas (*intelligent expert systems*) dapat dilihat di [20]. Sebuah prototipe robot pencari korban dari PENS (Politeknik Elektronika Negeri Surabaya) yaitu iSRo adalah kependekan dari "*intelligent Search Robot*" [15].

Pada penelitian pemetaan area *indoor* dihasilkan dari kombinasi data pergerakan robot dan data observasi terhadap lingkungan area robot (*obstacle* di lingkungan area robot), ketika robot melakukan navigasi. Data pergerakan (*motion model*) merupakan proses data odometry

dari sensor *rotary encoder* untuk menentukan posisi dan arah dari robot, sebagaimana disebutkan dalam penelitian [5][16][17][18]. Data observasi adalah data deteksi *obstacle* menggunakan sensor infrared yang disusun dari beberapa sensor *Infrared*, sehingga terbentuk area deteksi di area robot bernavigasi, seperti dijelaskan pada [12]. Penggunaan sensor IMU dan GPS untuk informasi koordinat posisi [24].

Beberapa penelitian terkait yang menggunakan robot untuk pemetaan lingkungan yaitu : "*Simultaneous localisation and mapping for mobile robots with recent sensor technologies*". Tujuan penelitian adalah membentuk sistem yang stabil (*robustness*) untuk menghasilkan peta 2 dimensi menggunakan *recent sensor*. Penelitian ini membandingkan metode grid base dengan dua implementasi dari fitur geometrik berbasis SLAM. Recent sensor : Laser range finder, sonar, dan kamera [13]. "*Object Detection and Mapping for Service Robot Tasks*", adalah membangun mobile robot dalam ruangan untuk lingkungan rumah tangga, dengan kemampuan membangun peta dan melokalisasi benda yang telah di tetapkan sebelumnya menggunakan sistem SLAM (*Simultaneous localisation and mapping*). Peta hasil sistem SLAM ditambahkan posisi dari benda yang telah ditentukan menggunakan sistem pengenalan objek yang dapat mendeteksi benda-benda di lingkungan [14].

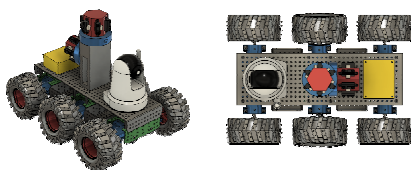
E. Blok Desain Sistem



Gambar 1. Blok diagram sistem dan desain robot *rescue*.

Pada diagram Gambar 1 terdapat dua bagian dari sistem pemetaan pada penelitian ini, yaitu Robot Rescue dan GCS (*Ground Control Station*). Robot Rescue yang akan dirancang memiliki ciri-ciri sedemikian rupa, sehingga mampu untuk berjalan pada daerah yang terkena bencana, yang umumnya sempit, medan yang berbatu, berpasir maupun di rerumputan. Robot dilengkapi beberapa modul sensor yaitu *rotary encoder* untuk menentukan posisi, sensor jarak Sharp 2Y0A02 untuk sensor jarak area sekitar robot serta kamera untuk informasi area robot secara online kepada operator untuk melakukan kendali dari manuver robot. Data-data sensor dikirimkan kepada GCS (*Ground Control Station*) operator melalui nirkabel, terdapat 2 modul *wireless* untuk komunikasi data posisi robot dan *wireless* untuk kamera secara online.

F. Desain Mekanik



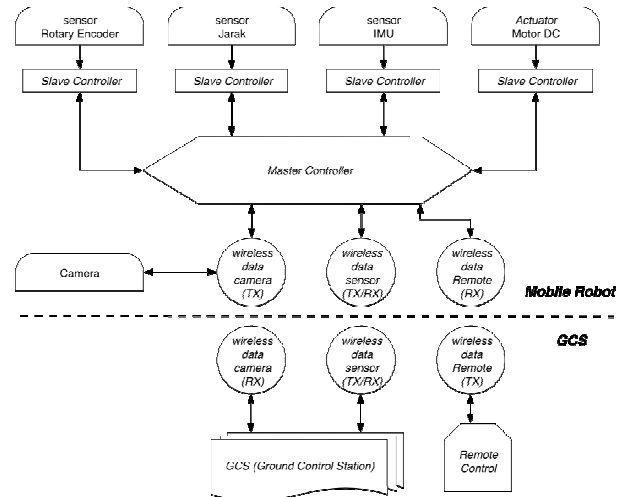
Gambar 2. Desain mekanik enam roda penggerak differential dan desain mekanik sensor.

Mekanik robot didesain sedemikian rupa, sehingga mampu memasuki celah-celah, yang memungkinkan robot bisa masuk didalamnya, dan memiliki kelincihan yang memadai untuk bisa bergerak di medan yang tidak beraturan. Pada penelitian ini menggunakan *differential steering*, menggunakan enam roda, enam motor penggerak dilengkapi dengan *rotary encoder*, fleksibel suspensi pada tiap roda, masing-masing roda merupakan aktuator penggerak dengan menggunakan motor DC yang dilengkapi dengan sensor *rotary encoder* untuk melakukan rekam data perputaran roda.

G. Desain Perangkat Modul Elektronik

Perangkat elektronik dari penelitian ini terdiri dari beberapa modul yaitu:

1. Mikrokontroler,
2. Sensor *Rotary Encoder*

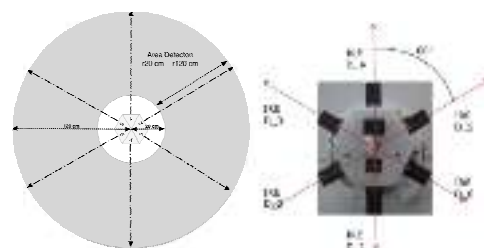


Gambar 3. Blok diagram modul elektronik.

3. Tipe *rotary encoder* yang digunakan adalah *incremental rotary encoder*.
4. Sensor jarak (*Infrared/IRED*)
5. Sensor Gyrometer
6. Driver motor DC
7. Motor DC
8. Modul wireless (*Transmitter dan Receiver*)
9. Remote control
10. Komputer (untuk GCS / visualisasi data)

H. Observation Model

Pembacaan area lingkungan robot, menggunakan sensor jarak dengan jangkauan deteksi 20-120 cm, 6 sensor disusun secara melingkar, sehingga terdapat 6 titik pembacaan sensor jarak, terdapat aktuator dengan sensor *rotary encoder* untuk memutar sensor dengan referensi sudut tertentu. Pengambilan data pada *Circular Range Sensor*, adalah berupa sudut dan jarak deteksi, sehingga data yang diperoleh adalah titik-titik pembacaan sensor dengan area deteksi sensor melingkar, dengan diameter dalam 20 cm dan diameter luar adalah 120 cm.



Gambar 4. Desain sensor untuk data observasi.

Sensor jarak yang digunakan adalah sensor *Infrared* (Sharp 2YA02), dan MX-12W sebagai

aktuator rotasi, pada MX-12W terdapat *rotary encoder* yang digunakan sebagai sensor posisi, data jarak dan sudut dikirimkan melalui wireless menggunakan modul Zig-100A (RF_1) modul *transmitter* sebagai mengirimkan data, dan Zig-100 (RF_2) modul *receiver* sebagai penerima data. Output data dari sensor berupa posisi, dan data analog dari 6 sensor IRED yang dihubungkan dengan modul kontrol penerima (*uC master*) untuk proses data lebih lanjut.

I. Motion Model

Untuk melakukan rekam data posisi pada penelitian ini menggunakan dua sensor *rotary encoder* yang terpasang pada roda kiri dan roda kanan robot. Data dua sensor tersebut akan diintegrasikan dengan metode *Differential Odometry*. Pada Gambar 3 rotary encoder dihubungkan dengan mikrokontroler (*slave uC*) untuk melakukan penjadwalan proses pembacaan perubahan dan arah perubahan data pada kedua *rotary encoder* tersebut. Nilai perubahan jarak tempuh setiap siklus pembacaan, akan diproses menggunakan odometry dan diintegrasikan dengan data sudut dari sensor *Inertia Measurement Unit (IMU)*, sehingga mendapatkan data keluaran berupa posisi dan orientasi.

J. Visualisasi Data Sensor

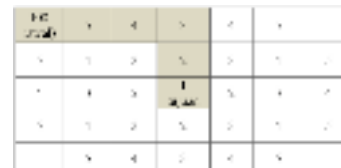
Data data sensor yang terpasang di robot akan divisualisasikan dalam bentuk peta yaitu jejak pergerakan robot dan data sensor jarak yang mendeteksi benda di area sekitar robot. Visualisasi data berupa plot rekam jejak robot dan posisi benda (*obstacle*) saat robot melakukan navigasi, pada saat robot melakukan navigasi, data posisi dan observasi akan dikirimkan dan disimpan pada GCS.

G. Peta Jalur Alternatif

Untuk menentukan jalur terpendek dalam penelitian ini menggunakan algoritma Flood Fill. Tahap-tahap algoritma Flood Fill pada penelitian ini, yaitu:

1. Inisialisasi. Inisialisasi data denah dalam koordinat kartesian yaitu nilai minimal dan maksimal dari titik sumbu X dan Y.
2. Tahap proses pencarian titik tujuan. Pencarian dilakukan disetiap grid, sehingga didapat koordinat dari titik tujuan.
3. Tahap definisi parameter.
4. Tahap pencarian titik awal dan *update* parameter.
5. Proses pencarian jalur dari titik awal menuju titik tujuan.

Hasil proses dari *update* nilai parameter adalah adanya nilai pada masing-masing grid. Nilai parameter tersebut digunakan sebagai acuan untuk memperoleh jalur efektif dari titik awal menuju titik tujuan. Proses pencarian jalur dimulai dari titik awal, kemudian melakukan pencarian nilai yang lebih kecil pada grid X-1, X+1, Y-1, Y+1. Proses pencarian dilakukan berulang-ulang, sehingga mencapai titik tujuan, yaitu angka 1.

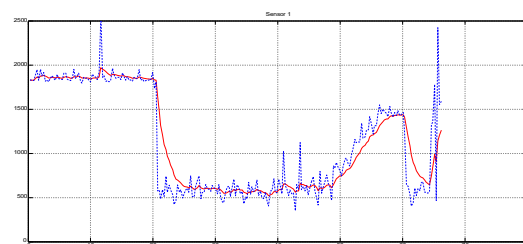


Gambar 5. Pencarian jalur dari titik awal menuju titik tujuan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Eksperiment Observation Model

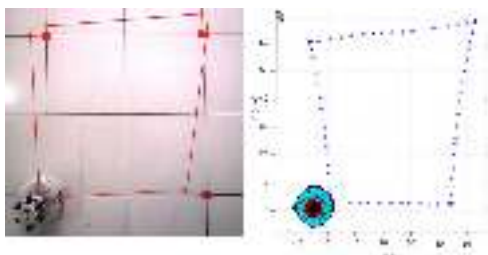
Pada proses deteksi *obstacle* atau proses observasi area pada penelitian ini menggunakan sensor jarak dengan tipe *Infrared (IR)*. Terlihat pada grafik deteksi obstacle oleh sensor *infrared* terdapat osilasi pada data pembacaan sensor. Pada Gambar 6 adalah grafik hasil pembacaan data sensor dan hasil data setelah dilakukan filter menggunakan Kalman filter.



Gambar 6. Grafik data sensor *infrared* dengan Kalman filter.

B. Eksperimen Motion Model

Data input motion model adalah data perubahan nilai dan arah perubahan data rotary encoder yang terpasang pada roda kiri dan kanan robot. Nilai data rotary encoder setiap rotasi roda adalah 4095, dengan diameter roda 4.5 cm, dan jarak roda kiri dengan roda kanan (*dbaseline*) adalah 14.1 cm. Nilai *L_click* dan *R_click* didapatkan dengan cara membagi keliling roda kiri dan kanan dengan data *rotary encoder* perrotasi dari roda, sehingga nilainya adalah $(\pi * 4.5)/4095$.



Gambar 7. Plot data hasil pengujian odometry.

Pada pengujian data odometry dilakukan terlebih dahulu kalibrasi terhadap nilai diameter roda kiri, diameter roda kanan dan jarak antara roda kiri dan kanan. Nilai kalibrasi didapatkan dengan cara *trial and error* dengan membandingkan hasil jarak dan arah dari perhitungan odometry dengan data yang sebenarnya Gambar 7. Pada perhitungan data odometry terdapat pergeseran nilai atau nilai error, ini disebabkan karena slip pada roda, sedikit kesalahan perhitungan akan sangat berpengaruh terhadap nilai X dan Y posisi robot sebab perhitungan odometry merupakan hasil akumulasi dari setiap siklus perhitungan posisi. Pengaruh yang sangat signifikan adalah perhitungan sudut θ , kesalahan 0.5 cm perhitungan roda kiri dan kanan menyebabkan kesalahan dalam perhitungan odometry dengan jarak 100 cm.

$$error \theta = \frac{jarak\ kiri + jarak\ kanan}{jarak\ antar\ roda} \quad (20)$$

rad

Dengan kesalahan perhitungan 0.5 akan menghasilkan nilai kesalahan pada sudut 2.03° ,

jika jarak tempuh 100 cm, maka posisi robot bergeser sebesar:

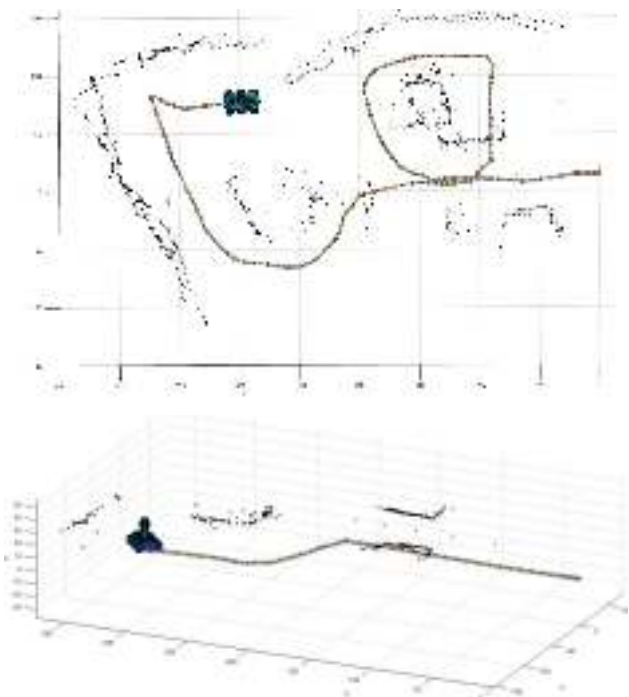
$$x = 100 * \sin(0.035) = 0.061 \text{ cm} \quad (21)$$

$$y = 100 * \cos(0.035) = 99.9 \text{ cm} \quad (22)$$

Hasil perhitungan *error* akan semakin besar sebanding dengan besarnya jarak tempuh dari robot, sehingga diperlukan koreksi data perhitungan sudut θ untuk mengurangi kesalahan perhitungan jarak roda kiri dan jarak roda kanan yang disebabkan kesalahan pembacaan data putaran roda maupun kesalahan yang disebabkan slip pada kedua roda.

C. Eksperimen Sensor Fusion

Sensor Fusion merupakan gabungan data observasi dan data motion, proses pengambilan data dilakukan dengan cara merekam *motion model* pada setiap pergerakan sensor, serta perekam data observasi pada beberapa titik data *motion model*, data obstacle yang terdeteksi pada data observasi akan digambarkan atau diplot pada titik-titik posisi pengambilan data, sehingga terbentuk gambar berupa alur atau jejak dari pergerakan *motion model* dan obstacle yang terdeteksi di area tersebut.



Gambar 8. Visualisasi Data sensor fusion dari motion model dan observation model.

D. Visualisasi Peta Jalur Alternatif

Pengujian dilakukan percobaan dengan titik tujuannya (*exit*) lebih dari satu, Hasil proses perhitungan jumlah grid dari titik awal menuju titik tujuan akan dibandingkan untuk mendapatkan jalur yang paling efektif.



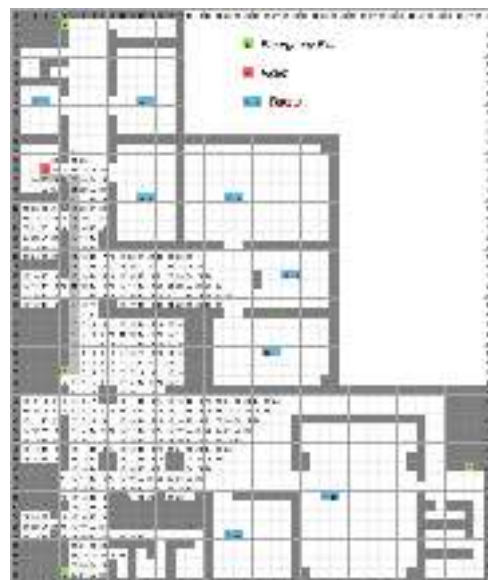
Gambar 9. Hasil parameter Flood Fill ruang 2 Exit 1.

Denah yang digunakan adalah gedung pascasarjana Politeknik Elektronika Negeri Surabaya lantai 2. Denah gedung tersebut dikonversi ke dalam grid $x = 49, y = 59$, proses awal inisialisasi adalah titik awal dan titik tujuan, kemudian dilakukan proses *update* nilai parameter.



Gambar 10. Hasil Flood Fill pada ruang 2 dan Exit 2.

Percobaan pada Gambar 9 menggunakan titik awal dengan koordinat $X = 3$, dan $Y = 16$, titik tujuan berada pada *emergency exit* dengan koordinat $X = 5, Y = 58$. Hasil dari algoritma Flood Fill menunjukkan bahwa panjang grid pada ruang 2 (R2) dengan Exit 1 adalah 46 grid. Hasil dan proses perhitungan algoritma Flood Fill untuk Ruang 2 dan Exit 2 terlihat pada Gambar 10. Panjang / jumlah grid yang didapatkan adalah 19 grid. Hasil dan proses perhitungan algoritma Flood Fill untuk Ruang 2 dengan exit 3 terlihat pada Gambar 11, jalur terpendek yang didapat adalah 26 grid.



Gambar 11. Hasil Flood Fill pada jalur ruang 2 dengan Exit 3.

Dari data-data pengujian pencarian jalur terpendek dari titik *victim* menuju *emergency exit* seperti yang telah dikemukakan, didapatkan data jalur sebagai berikut:

1. Jarak antara *victim* dan *emergency exit* 1 adalah 46 grid.
2. Jarak antara *victim* dan *emergency exit* 2 adalah 19 grid.
3. Jarak antara *victim* dan *emergency exit* 3 adalah 26 grid.

Jalur alternatif dan terpendek untuk melakukan evakuasi pada ruang 2 adalah jalur kedua yaitu 19 grid.

E. Analisa Hasil Eksperimen

Analisa hasil eksperimen dari penelitian ini menunjukkan bahwa :

1. Pengambilan data sensor *infrared* atau sensor jarak dengan kondisi bergerak akan menyebabkan osilasi data atau tingkat eror dari pengukuran data lebih besar, untuk mengurangi nilai *error* tersebut pada penelitian ini menggunakan filter data, Hasil filter menunjukkan nilai *error* berkurang apabila dibandingkan dengan tanpa menggunakan filter Kalman.
2. Pada motion sensor, perhitungan data odometry terdapat pergeseran nilai / nilai *error*, ini disebabkan karena slip pada roda, dengan kesalahan perhitungan 0.5 akan menghasilkan nilai kesalahan pada sudut 2.03° . Hasil perhitungan *error* akan semakin besar sebanding dengan besarnya jarak tempuh dari robot, maka diperlukan koreksi data perhitungan sudut θ untuk mengurangi kesalahan perhitungan jarak roda kiri dan jarak roda kanan.
3. Data Fusion yang didapatkan berupa pemetaan 3 dimensi dari data posisi robot selama melakukan navigasi dan *obstacle* yang terdeteksi oleh observation sensor, untuk hasil pemetaan 3 dimensi diperlukan rekonstruksi / *redrawing* posisi *obstacle*, sehingga hasil pemetaan *obstacle* lebih kompleks dan detail.
4. Pemetaan data digunakan sebagai informasi denah suatu area dalam gedung (*indoor*), data peta ini sebagai referensi untuk melakukan pencarian jalur alternative yang efektif, posisi pintu keluar *emergency exit* dan *victim* ditentukan secara manual, kemudian sistem akan melakukan pencarian rute terpendek antara posisi *victim* dan *emergency exit*.

5. KESIMPULAN

Untuk melakukan pemetaan area *indoor* menggunakan robot diperlukan parameter-parameter untuk melakukan *internal positioning* sistem yaitu rekam jejak posisi pergerakan, rekam posisi *obstacle* (*observation model*).

Odometry yang digunakan sebagai proses rekam jejak dapat memberikan informasi posisi dan arah memiliki keterbatasan jika bidang berupa area datar, untuk mengurangi keterbatasan tersebut digunakan data pembanding menggunakan gyrometer sebagai perbaikan data arah hadap dari robot. Rekam posisi *obstacle* (*observation model*) dengan proses pengambilan data saat robot bergerak menyebabkan osilasi data atau menimbulkan kesalahan pengukuran data, nilai pengukuran harus dilakukan proses filter yaitu dengan cara urutan proses pengambilan data, filter data secara software yaitu Kalman filter. *Error* data pengukuran atau data komunikasi menyebabkan hasil pemetaan kurang akurat, diperlukan rekonstruksi (*redrawing*) untuk memperbaiki bentuk pada peta, sehingga hasil pemetaan lebih baik.

Pada pengembangan penelitian selanjutnya untuk mendapatkan peta yang berkualitas dan presisi, beberapa parameter yang utama adalah mekanik robot yang dapat melalui berbagai arena, kesesuaian penggunaan sensor terhadap mekanik dan objek yang akan dideteksi, proses komunikasi data, filter data baik secara hardware dan software, rekonstruksi data pemetaan, serta LGPS (*Local Global Positioning System*) atau *positioning* menggunakan sinyal, untuk informasi posisi secara global, sehingga posisi robot tetap terekam dengan baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia. Penelitian ini dibiayai sesuai surat Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset Dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, Dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia, Nomor 13/E/Kpt/2018 Tentang Penetapan Penerima Program Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional Gelombang II Tahun Anggaran 2018, Tanggal 7 Mei 2018 dan Surat Perjanjian/Kontrak Nomor 008/SP2H/LT/DRPM/2018, Tanggal 26 Maret 2018

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gupta, K. H., "Disaster Management". Universities Press, New Delhi, 2003.
- [2] Welch, G. & Bishop, An Introduction to the Kalman Filter, Department of Computer Science University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, Juli 2006.
- [3] Masduqi, A., & Apriliani, Estimation of Surabaya River Water Quality Using Kalman Filter Algorithm, The Journal for Technology and Science, 87-91, 2008.
- [4] Purnomo, K. D. Aplikasi Metode Ensemble Kalman Filter pada Model Populasi Plankton, Tesis. Surabaya: Program Pascasarjana Institute Teknologi Sepuluh Nopember, Jurnal ILMU DASAR, Vol. 9 No. 1, Hal: 38-44, January 2008.
- [5] J. Borenstein, L. Feng, Gyrodometry: A New Method for Combining Data from Gyros and Odometry in Mobile Robots, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, Apr. 22-28, pp. 423-428, 1996.
- [6] Edwin Olson, A Primer on Odometry and Motor Control, Mobile Autonomous System, Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, Desember 2004.
- [7] J. Borenstein, L. Feng, Measurement and Correction of systematic Odometry Error in Mobile Robots, IEEE Transactions On Robotics and Automations, Vol. 12, No. 6, December 1996.
- [8] Indra Adji Sulistijono, Son Kuswadi, Eko Henfri Binugroho, dan Achmad Jazidie, Pengembangan Mekanisme Multiplatform Robot Pencari Korban Bencana Alam, 1st APTECS (National Seminar on Applied Technology, Science, and Arts), Surabaya, Indonesia, 2009.
- [9] J. Borenstein, H. R. Everett, L. Feng, Where Am I ? Sensor and Methods for Mobile Robot Positioning , The University of Michigan, Ed. 1st, April 1996.
- [10] D. Fox, W. Burgard, H. Kruppa, S. Thrun, Collaborative multi-robot localization, Proceedings of the German Conference on Artificial Intelligence, 2000.
- [11] S. Thrun, An online mapping algorithm for teams of mobile robots, International Journal of Robotics Research Vol. 20, 2001.
- [12] Rodik W. I., Indra Adji S., Achmad Basuki, Designing Omni-Directional Distance Sensor Using Kalman Filter for Range Finder, in: International Electronics Symposium, Hal. 43-47, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2014.
- [13] Elmar A. Ruckert, Simultaneous Localization and Mapping for Mobile Robots with Recent
- [14] Sensor Technologies, Thesis, Graz University of Technology Institute for Computer Graphics and Vision, December 2009.
- [15] Staffan Ekvall, Danica Kragic, Patric Jensfelt, Object Detection and Mapping for Services Robot Task, Computational Vision and Active Perception Laboratory Center for Autonomous Systems, Royal Institute of Technology.
- [16] Indra Adji S., Endah S. N. Eko Henfri B., Ali Husain A., Ananda Verdi S., Sensor Coordination for Behavior of Search Robot Using Simultaneous Localization and Mapping, In: IPTEK Journal of Engineering, Vol. 2, No. 1, 2015.
- [17] W. Burgard, M. Moors, D. Fox, R. Simmons, S. Thrun, Collaborative multi-robot Exploration, in: Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 1999.
- [18] R. Simmons, D. Apfelbaum, W. Burgard, D. Fox, M. Moors, Coordination for multi-robot exploration and mapping, in: Proc. The AAAI National Conference On Artificial Intelligence, 2000.
- [19] J. Reuter, Mobile robot self-localization using PDAB, in: Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA-2000), San Francisco, CA, 2000.
- [20] Amanpreet Singh, Gianetan Singh Sekhon, A New Shortest Path Finding Algorithm For A Mazesolving Robot With Simulator, in: International Journal of Computer Science and Communication, Vol. 2, No. 2, pp. 445-449, Juli- Desember 2011.
- [21] Semuil Tjiharjadi, Erwin Setiawan, Design and Implementation of Path Finding Robot Using Flood Fill Algorithm, in: International

Journal of Mechanical Engineering And Robotics Research, Vol. 5, Hal. 180-185, No. 3, Juli 2016.

- [22] Ibrahim Elshamarka, Abu Bakar S. S., Design and Implementation of a Robot for Maze- Solving Using Flood-Fill Algorithm, in: International Journal of Computer Application (0975-8887), Vol. 56, Hal. 8-13, No. 5, Oktober 2012.
- [23] Garima, Vipul Aggarwal, Optimization of Flood fill algorithm using Look-Ahead Technique, Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ), ISSN: 2250-3498, Vol. 3, Hal. 670-676, No. 4, Agustus 2013.
- [24] Abdullah M. N. Rahman, Akhmad Hendriawan, Reesa Akbar, Penerapan Algoritma Flood Fill untuk Menyelesaikan Maze pada Line Follower Robot, Tugas Akhir: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
- [25] Esa Apriaskar , Ariesta Martiningtyas Handayani, Purwarupa Sistem pendeteksi jarak antara quadrotor dengan sensor GPS, Jurnal Inovtek Polbeng, Vol. 8, No. 2, November 2018.