

Pemetaan Posisi dan Sistem Navigasi Mobile Robot Dalam Ruang Menggunakan Sensor Perpindahan Jenis Optical Laser

Rahardhita Widyatra Sudibyo^{#1}, Achmad Subhan Khalilullah, ST^{#2}, Haniah Mahmudah, ST, MT^{#3}

[#]Politeknik Elektronika Negeri Surabaya,

Institute Teknologi Sepuluh November Surabaya

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

¹widyatra@yahoo.com, ²subhankh@eepis-its.edu, ³haniah@eepis-its.edu

Abstract

Pesatnya perkembangan teknologi robot pada saat ini memungkinkan seseorang untuk melakukan perkembangan teknologi ini. Saat ini perkembangan navigasi untuk mobile robot sangat berkembang pesat, antara lain adalah teknologi line tracer dan odometry dengan menggunakan rotary encoder. Semakin pesatnya teknologi membuat negara-negara berkembang khususnya Indonesia kalah bersaing dengan negara-negara maju lainnya dalam teknologi robot dan ajang-ajang perlombaan tingkat nasional.

Pada penelitian ini dirancang sebuah sistem untuk membentuk sebuah sistem koordinat secara tepat dan pemetaan posisi robot dalam ruang. Titik pusat koordinat berada pada titik awal sebelum robot bergerak. Setiap kali robot bergerak perubahan nilai perpindahan terhadap sumbu x dan sumbu y akan diakumulasikan dengan data sebelumnya. Pengukuran akurasi heading pada robot dilakukan dengan menempatkan dua titik sensor yang berbeda-beda pada badan robot yang dimaksudkan untuk mendapatkan posisi ideal untuk menekan kesalahan pembacaan heading.

Pemilihan yang tepat dalam penggunaan sensor akan berpengaruh terhadap hasil yang dicapai. Sensor jenis optical laser merupakan salah satu pilihan untuk mendapatkan hasil yang presisi dari perhitungan yang digunakan. Pada sensor laser dapat digunakan sebagai pengganti dari rotary encoder di mana memiliki sensitivitas yang baik (%error=7,4%) terhadap alas vinyl, karpet hijau, karpet abu-abu, dan multiplex hitam. Serta pada pencapaian target tidak terpaud jauh (selisih %error=1.4%) dengan penggunaan rotary encoder pada umumnya.

Kata kunci : laser optical, mikrokontroler, robot, odometry

1. Introduction

Kontes Robot Indonesia dan Kontes Robot Cerdas Indonesia sudah lebih dari sepuluh kali diadakan. Dari sekian banyak peserta yang berpartisipasi penggunaan terhadap teknologi baru masih sangat kecil. Terutama untuk sistem navigasi, kebanyakan robot yang dilombakan masih menggunakan teknologi line tracer dengan menggunakan sensor optik untuk mendeteksi jalur. Dengan sistem seperti ini mau tidak mau robot harus berjalan sesuai dengan jalur yang telah disediakan sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai sasaran relatif lambat. Hal yang mungkin dilakukan untuk mempercepat adalah tidak berjalan pada lajur yang disediakan, namun ini membutuhkan kepresisian dari sistem navigasi yang dibangun dalam sebuah robot tersebut.

Pemetaan lokasi dapat dibagi menjadi tiga kelompok meliputi sistem pemetaan lokasi menggunakan bantuan GPS (Global positioning System), menggunakan sistem RF (Radio Frequency) dengan teknik triangulation, dan yang ketiga adalah dengan menggunakan kombinasi sensor perpindahan. Yang terakhir ini saat ini dapat dibagi menjadi

dua kelompok yaitu sistem berbasis sensor akselerometer, dan berbasis pada optical sensor.

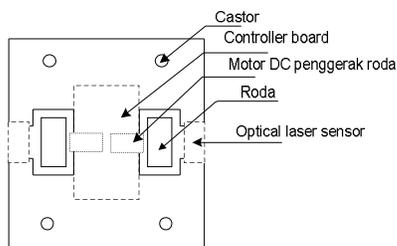
Penggunaan GPS adalah yang paling umum digunakan untuk pemetaan di luar ruangan. Sistem ini mengandalkan beberapa satelit yang memang khusus digunakan untuk pemetaan. Namun ketergantungan terhadap penerimaan sinyal satelit menjadikan penggunaan teknik ini terbatas pada luar ruangan saja. Untuk di dalam ruangan kebanyakan perangkat penerima mengalami kendala. Sistem pemetaan dalam ruang menggunakan radio frequency juga merupakan salah satu alternatif lain untuk pemetaan lokasi dalam ruang. sebagai contoh [Isaac Amundson, 2008] [B. Kusy, 2007] adalah sistem lokalisasi berbasis pada RF Doppler shift. Dengan cara ini lokalisasi dalam ruangan dapat dilakukan namun dengan kesalahan posisi yang cukup besar. [Radu Stoleru, 2005] [Nissanka B, 2000] adalah teknik lokalisasi menggunakan infra red dan ultrasound. Kekurangan dari sistem tersebut adalah factor line-of-sight terbatas, dan juga keterbatasan jangkauan transmisi sinyal RF. [Ching-Hsien, 2009] mengenalkan cara lain untuk lokalisasi dalam ruang dengan menggunakan akselerometer. Sistem ini

menggunakan perhitungan akselerasi yang didapat dari sensor. Dengan melakukan integrasi numeric dari data akselerasi, didapat nilai jarak perpindahan. Dari data inilah kemudian dilakukan pemetaan lokasi dalam ruang. Dari hasil penelitian tersebut sistem ini menunjukkan nilai akselerasi banyak dipengaruhi oleh vibrasi yang ditimbulkan oleh pergerakan benda. Sehingga pada sistem ini benda diharuskan untuk bergerak secara simultan seperti gerak jatuh bebas. Kesalahan terbesar pada sistem ini didapatkan pada saat benda bergerak pelan-pelan dan pada saat konstan.

Mengacu pada kondisi ini maka penelitian terhadap teknik baru dalam sistem navigasi menjadi prioritas utama untuk dilakukan. Hal yang mungkin dilakukan adalah menerapkan sebuah teknik baru dalam sistem navigasi dimana teknik ini sudah tidak lagi mengandalkan deteksi lajur. Seperti yang akan diajukan dalam penelitian ini yaitu sebuah teknik baru yang mungkin bisa menjadi alternatif sistem navigasi yaitu dengan membangkitkan koordinat secara tepat untuk pemetaan lokasi robot. Pembangkitan koordinat ini dihasilkan dari data pembacaan vektor perpindahan dari sensor laser optik.

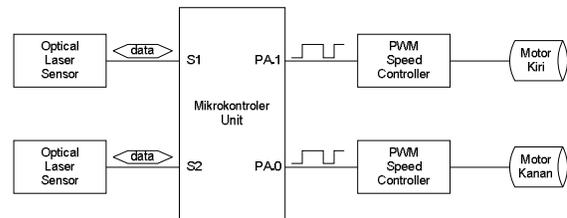
2. Metodologi

Terdapat tiga topik dalam penelitian ini. Pertama adalah menemukan karakteristik pengaruh pantulan materi yang dikenai oleh optical sensor. Kedua adalah menemukan penempatan posisi sensor dengan penentuan heading robot. Ini dilakukan karena berhubungan dengan sistem koordinat yang digunakan dalam lokalisasi mobile robot, dan yang ketiga adalah lokalisasi dengan menemukan titik lokasi dalam ruangan.



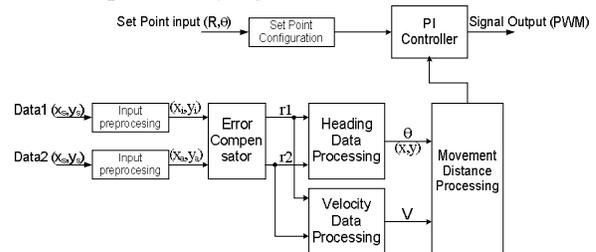
Gambar 1. Bentuk Mekanik Robot

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah mobile robot. Seperti tampak pada gambar 1, perlengkapan mobile robot ini masih sederhana yaitu berupa penggerak dan sistem sensor optical laser. Sebuah kontroler dipasang berguna untuk mengambil data dari sensor dan mengendalikan gerak motor. Desain yang akan dibuat menitikberatkan pada sistem navigasi saja. Untuk tugas-tugas tertentu, robot ini masih belum dilengkapi dalam penelitian ini.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem Hardware

Pada gambar 2 ditunjukkan rancangan perangkat keras yang dibangun sebagai objek penelitian ini. Data dari optical laser sensor akan diproses melalui software seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Tampak pada gambar 3, adalah blok diagram sistem software yang akan ditanam dalam mikrokontroler. Sistem ini menerima 4 buah input. Input pertama adalah data set point, kedua input mode kalibrasi, ketiga input sensor 1, dan sensor 2. Fungsi dari input data set point adalah sebagai referensi tujuan bagi robot untuk bergerak. Data set point berupa jarak (R) dan heading (α). Data ini akan tersimpan di memori mikrokontroler hingga muncul set point baru yang diberikan.



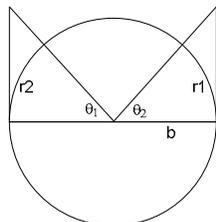
Gambar 3. Blok Diagram Sistem Software

Selanjutnya setelah muncul set pint baru dan proses perbaikan data, blok error kompenstor akan memproses data dengan menambahkan konstanta perbaikan yang dihasilkan pada mode kalibrasi. Dari sub-sistem ini dihasilkan data yang diperkirakan menurunkan nilai error pembacaan. Data dari blok error kompensator di simbolkan dengan $R1$ dan $R2$. Data $r1$ dan $r2$ merupakan resultan dari perubahan nilai x dan y pada masing-masing sensor. Fungsi untuk menghitung resultan menggunakan persamaan 1 berikut ini.

$$r_{1,2} = \sqrt{x^2 + y^2} \dots \dots \dots (1)$$

Dalam kinematika gerak robot $r1$ dan $r1$ adalah kecepatan sudut dari pergerakan masing-masing roda. Sehingga dalam bentuk matematis $r1$ dan $r2$ dapat dituliskan dengan simbol $\omega1$ dan $\omega2$. Dari gambar 2 menunjukkan bahwa $r1$ dan $r2$ adalah panjang busur lingkaran yang diakibatkan oleh pergerakan masing-masing roda. Dengan mendapatkan nilai $\omega1$ dan $\omega2$ posisi perpindahan robot dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3) dan (4). Dimana x dan y adalah besar perpindahan robot yang dipetakan ke dalam sistem koordinat kartesian. Heading robot pada saat itu dihitung dari

selisih kecepatan sudut roda kiri dan roda kanan. Seperti tampak pada persamaan 2.



Gambar 4. Pemetaan Gerak Kinematika Robot

$$\dot{\theta} = \frac{r(\omega_l - \omega_r)}{2b} \dots \dots \dots (2)$$

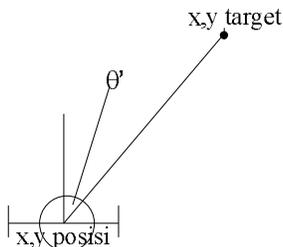
$$\dot{x}_{posisi} = \frac{r(\omega_l + \omega_r)}{2} \cos \theta \dots \dots \dots (3)$$

$$\dot{y}_{posisi} = \frac{r(\omega_l + \omega_r)}{2} \sin \theta \dots \dots \dots (4)$$

Dimana r adalah jari-jari roda, b jarak antara titik tengah robot dengan titik tengah roda, ω_l dan ω_r kecepatan sudut roda kiri dan kanan, dan θ adalah heading robot. Fungsi kecepatan gerak robot adalah besar magnitude dari fungsi kecepatan, dalam bentuk ω_l dan ω_r persamaan ini dapat ditulis sebagai berikut.

$$|v| = \frac{\omega_l + \omega_r}{2} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana ω_l dan ω_r adalah kecepatan sudut untuk masing-masing roda. Sedangkan untuk mendapatkan nilai θ' , yaitu besarnya sudut antara heading robot terhadap target.



Gambar 5. Pencarian nilai α

Untuk mendapatkan nilai θ' sebelumnya harus menghitung nilai selisih dari dari x, y posisi sekarang dengan nilai xy dari target yang dituju. Setelah mendapatkan nilai selisih maka untuk mengetahui nilai θ' kita bisa menggunakan arctg dari fungsi trigonometri sehingga dapat ditulis pada persamaan (8).

$$x = x_{target} - x_{posisi} \dots \dots \dots (6)$$

$$y = y_{target} - y_{posisi} \dots \dots \dots (7)$$

$$\theta' = 90 - \arctg \left(\frac{y}{x} \right) \dots \dots \dots (8)$$

Model persamaan ini merupakan model pendekatan sederhana tanpa mengikutkan pengaruh faktor percepatan. Dikarenakan massa robot sendiri termasuk dalam kategori ringan.

Teknik pengendalian gerak robot pada penelitian ini direncanakan menggunakan Proportional Diferensiator (PD). Pengendali ini akan menerima masukan set point berupa R dan arah yang dituju. Untuk mencapai titik tersebut robot harus menggerakkan kedua rodanya berputar. Hal pertama yang akan dilakukan adalah mencapai heading yang diinginkan. Pada saat berjalan mencapai titik tujuan kecepatan cenderung konstan. Namun ketika mulai mendekati tujuan kecepatan akan menurun hingga robot tersebut diam atau kecepatan sama dengan 0. Untuk melakukan aksi tersebut pengendali PD mendapatkan umpan balik berupa error heading dan error kecepatan robot. Persamaan kedua komponen tersebut adalah sebagai berikut.

$$|v|_k = K_p e_{|v|} + K_d e_{|v|} dk \dots \dots \dots (9)$$

$$\dot{\phi}_k = K_p e_{\phi} + K_d e_{\phi} dk \dots \dots \dots (10)$$

Dari persamaan (9) dan (10) pengendali PD mendapatkan informasi baru dari kecepatan dan heading saat itu. Nilai K pada persamaan (9) dan (10) menggunakan metode tuning untuk mencari nilai yang baik. Setelah itu gerakan robot diperintahkan dengan spesifikasi arah dan kecepatan yang akan dituju. Sehingga konskuensinya adalah persamaan (9) dan (10) harus dikonversi menuju kecepatan untuk masing-masing roda. Sehingga,

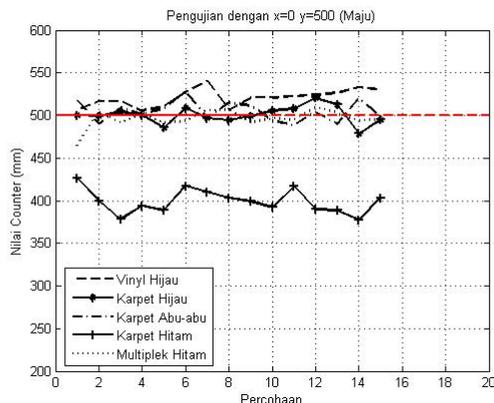
$$\omega_l = \frac{|v| - b\dot{\phi}}{r} \dots \dots \dots (11)$$

$$\omega_r = \frac{|v| + b\dot{\phi}}{r} \dots \dots \dots (12)$$

Pada persamaan (11) dan (12) di mana nilai ω_l dan ω_r adalah hasil dari proses persamaan (9) sehingga akan mengatur nilai kecepatan tiap roda untuk menuju heading yang tepat.

3. Hasil Percobaan

3.1 Pengaruh Karakteristik Pantulan Materi



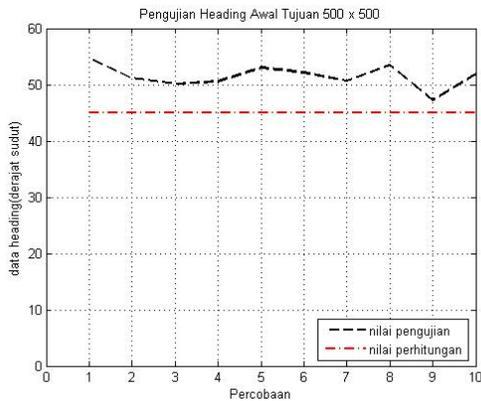
Gambar 6. Grafik Karakteristik Pantulan Materi

Dari ke empat pengujian yang telah dilakukan, yaitu saat kondisi maju, mundur, kanan, dan kiri jika dibandingkan data

tiap tabel maka bahan alas yang baik untuk sensor ini adalah bahan alas dari vinyl hijau, karpet hijau, karpet abu-abu, dan multiplex hitam. Pada bahan-bahan alas ini dari tabel-tabel yang ada jika dilihat berdasarkan nilai rata-rata maka nilai %error terbesar adalah sebesar 7.43 %, sehingga data ini masih bisa dianggap benar.

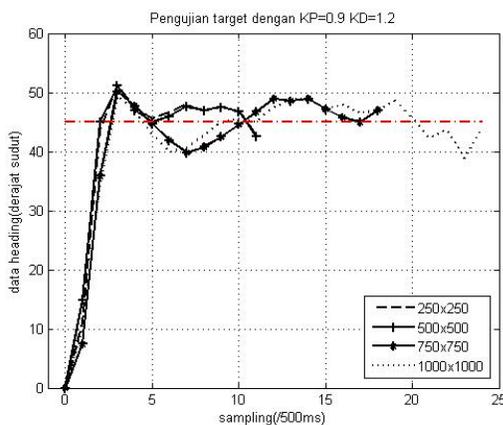
3.2 Penentuan heading dan lokalisasi target

Berdasarkan pada pengujian alas yang digunakan untuk selanjutnya pengujian menggunakan bahan alas vinyl. Pengujian selanjutnya yaitu dengan adanya nilai θ tertentu sehingga terjadi pengolahan data berdasarkan nilai *heading error* dan nilai koordinat yang ingin dituju. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik maka dilakukan percobaan dengan nilai theta sama dengan saat pengujian untuk menentukan nilai heading yaitu berkisar antara -45° , 45° , 135° dan -135° .



Gambar 7. Grafik pencarian nilai heading awal

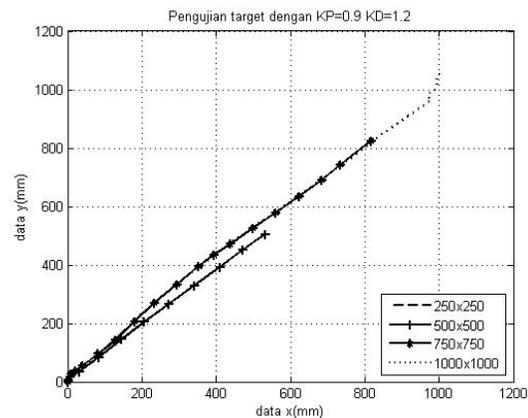
Pada gambar 7 dapat dilihat nilai pencarian heading awal saat pencarian heading pertama kali. Pada grafik dapat diketahui bahwa nilai heading awal akan selalu melebihi dari target. Kemudian setelah melewati batas target maka di sini kontrol PD digunakan, seperti tampak pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik rata-rata pencarian nilai heading

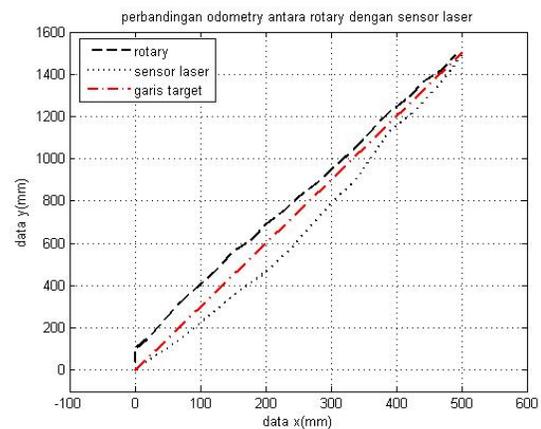
Pada gambar 8 merupakan hasil rata-rata untuk pencarian nilai heading. Grafik ini merupakan hasil dari pengolahan PD pada kontrol. Dapat diketahui bahwa saat pencarian heading 45° maka nilai konstanta pengendali (KP) akan berpengaruh pada kenaikan grafik (*rise time* dan *overshoot*) dan untuk nilai konstanta diferensiator (KD) akan berpengaruh pada respons transient pada grafik. Untuk pengujiannya dilakukan dengan empat target yang berbeda tetapi memiliki nilai heading yang sama.

Sedangkan untuk gambar 9 merupakan grafik rata-rata proses pencapaian target dari koordinat 0,0. Sama halnya dengan sebelumnya, pengujian dilakukan terhadap empat target yang berbeda tetapi memiliki nilai heading yang sama. Pada grafik diketahui bahwa tempat untuk robot berhenti tidak terlalu jauh dari target akan tetapi titik berhenti akan selalu melebihi target yang seharusnya dicapai. Jika diamati pada grafik jalur yang ditempuh untuk menuju target mendekati nilai yang sama bahkan ada beberapa jalur yang dilewati berulang-berulang pada target yang berbeda.



Gambar 9. Grafik rata-rata pencapaian target

3.3 Perbandingan dengan Rotary Encoder



Gambar 10. Grafik Karakteristik Pantulan Materi

Pada gambar 10 diketahui bahwa robot yang menggunakan rotary encoder berhenti pada koordinat $x=490$ dan $y=1490$, berarti robot ini memiliki %error sebesar 2% untuk koordinat x dan 0.7% untuk koordinat y .

Pada robot dengan sensor jenis optical laser berhenti pada koordinat $x=502.84$ dan 1501.89 sehingga %error sebesar 0.6% untuk koordinat x dan 0.1% untuk koordinat y . Jika membandingkan %error dari kedua sensor maka tidak dapat dikatakan sensor mana yang lebih baik dikarenakan %error dari kedua sensor yang relatif kecil. Sehingga sensor jenis optical laser tidak dapat dikatakan lebih baik melainkan hanya sebagai alternatif sensor jika proses yang digunakan untuk pengolahan data sama.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pengujian sistem yang telah dibuat dalam tugas akhir ini, yaitu mengenai pemetaan posisi dan sistem navigasi mobile robot dalam ruang menggunakan sensor perpindahan jenis optical laser dapat diambil kesimpulan sementara yaitu:

1. Sensor ini memiliki sensitivitas yang baik (persen error = 7.4 %) pada alas lapangan robot yaitu vinyl hijau, karpet hijau, karpet abu-abu, dan multiplek hitam dan tidak terlalu sensitif (persen error = 23.6 %) pada bahan alas karpet hitam
2. Sensor laser ini bisa digunakan untuk pencarian titik lokasi tertentu dengan persen error max = 39% untuk jarak 500 mm dan 22% untuk jarak 1000 mm
3. Sensor laser memiliki nilai persen error yang tidak terpaut jauh dengan rotary encoder (selisih persen error = 1.4%) sehingga bisa digunakan sebagai alternatif untuk penggunaan odometry pengganti rotary encoder .

References

- [1]. Borenstein, J. "where am i? sensor and method for mobile robot positioning", university of Michigan, 1996.
- [2]. Borenstein, J. "Measurement and Correction of Systematic Odometry Errors in Mobile Robot", IEEE Transaction on Robotic and Automation. Vol 12, No 6, December 1996.
- [3]. Ching-Hsien Hsu, and Chia-Hao Yu, "An Accelerometer Based Approach For Indoor Localization", Proceeding of IEEE Symposia and Workshops on Ubiquitous and Trusted Computing 2009.
- [4]. D. Niculescu, and B. Nath, "DV Based Positioning in Ad Hoc Networks", In Journal of Telecommunication System, 2003, pp. 267-280

- [5]. Isaac Amundson, Xenofon Koutsoukos, and Janos Sallai, "Mobile Localization dan Navigation Using RF Doppler Shift", MELT 08, San Fransisco California USA 2008
- [6]. Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, and Hari Balakrishnan, "The cricket location support-system", Proc. Of MOBICOM 2000, Boston, MA, ACM Press. Pp. 32-43, 2000.